

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Racionalizace provozu turbokompresoru
v LINDE VÍTKOVICE a.s.

Rationalization of Running the Turbocompressor
in LINDE VÍTKOVICE a.s.

Student: Martin Jung

Vedoucí bakalářské práce: Doc. Ing. Josef Novák, CSc.

Ostrava 2009

Zadání bakalářské práce

Student: **Martin Jung**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2301R040 Průmyslové inženýrství
Téma: **Racionalizace provozu turbokompresoru v Linde Vítkovice a.s.**
Rationalization of Running the Turbocompressor in Linde Vítkovice a.s.

Zásady pro vypracování:

1. Analýza současného stavu
2. Hodnocení současné funkce
3. Návrh na zdokonalení systému
4. Metodické doporučení
5. Celkové hodnocení

Seznam doporučené odborné literatury:

Racionalizace výroby [online]. Ostrava (Česká republika): FS Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2008–. [cit.2008-12-14].

URL: <http://www.fs.vsb.cz/euprojekty/414/racionalizace-vyroby.pdf>

Organizace a řízení [online]. Ostrava (Česká republika): FS Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2008–. [cit.2008-12-14].

URL: <http://www.fs.vsb.cz/euprojekty/414/organizace-a-rizeni.pdf>

NOVÁK, Josef. *Datová základna pro údržbu, montáže a další pomocné a obslužné práce: soubor základních technologických postupů*. Ostrava 2004, 266 s.

TOMEK, Gustav. VÁVROVÁ, Věra. *Řízení výroby*. Grada Publishing, 1999. 439 s. ISBN 80-7169-578-5


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Josef Novák, CSc.**

Datum zadání: 29.09.2008

Datum odevzdání: 22.05.2009




prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.
vedoucí katedry


prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne

.....

plné jméno studenta

Prohlašuji:

- byl jsem seznámen s tím, že se na moji závěrečnou práci plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 - využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití školního díla a § 60 - školní dílo;
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo závěrečnou práci nevýdělečně užít ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB - TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB - TUO;
- было́ с́jednáno, že s VŠB - TUO v případě zájmu z její strany uzavřu licenční smlouvu, opravňující užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- было́ с́jednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci - nebo poskytnout licenci k jeho využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě požadovat ode mě přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby;

V Ostravě dne

.....

plné jméno studenta

Adresa trvalého pobytu studenta:

Martin Jung

Rovniny 1473/48a

748 01 HLUČÍN

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

JUNG, M. Racionalizace provozu turbokompresoru v LINDE VÍTKOVICE a.s. Ostrava: katedra mechanické technologie, Fakulta strojní VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2009, 58 s. Bakalářská práce, vedoucí: Novák, J.

Bakalářská práce se zabývá racionalizací provozu kyslíkového turbokompresoru v LINDE VÍTKOVICE a. s. Racionalizace je zaměřena na snížení spotřeby elektrické energie turbokompresoru v čase odlehčení. Na základě poznatků z provedené analýzy současného stavu, jsou navrženy úpravy hlavních regulačních armatur kyslíkového turbokompresoru, které jsou podmínkou pro snížení energetické náročnosti jeho provozu.

V závěru je provedeno celkové zhodnocení racionalizace včetně výpočtů návratnosti vložených investic.

ANNOTATION OF THESIS

JUNG, M. Rationalization of Running the Turbocompressor in LINDE VÍTKOVICE company. Ostrava: Department of Mechanical technology, Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical University Ostrava, 2009, 58 p. Bachelor thesis, head: Novák, J.

The Bachelor thesis deals with the rationalization of running the oxygen turbocompressor in LINDE VÍTKOVICE company. The rationalization is focused on the reduction in the consumption of electrical energy of turbocompressor during the period of unloading.

Based on the technical knowledge from the analysis of the present condition there are designed modifications of main control valves of the oxygen turbocompressor which are the condition for reduction of the energy intensity of its operation.

In conclusion there is general estimations of rationalization including the calculation of the investment return.

Obsah:

Seznam použitých značek:	- 8 -
Úvod:	- 10 -
1. Analýza současného stavu	- 11 -
1.1 Představení společnosti LINDE VÍTKOVICE a.s.	- 11 -
1.2 Organizační struktura	- 12 -
1.3 Politika jakosti.....	- 13 -
1.4 Středisko kyslíkárna	- 14 -
1.5 Středisko acetylénka	- 14 -
1.6 Středisko preparace lahví	- 15 -
1.7 Výroba plynného kyslíku.....	- 15 -
1.7.1 Řízení výroby plynného kyslíku.....	- 17 -
1.8 Dodávka plynného kyslíku do sítě	- 17 -
1.8.1 Řízení dodávky plynného kyslíku do sítě	- 18 -
1.8.2 Vyhodnocování energetické náročnosti dodávky kyslíku do sítě	- 19 -
1.9 Výroba kapalného kyslíku.....	- 19 -
1.9.1 Řízení zkapaňování kyslíku.....	- 20 -
2. Hodnocení současné funkce	- 21 -
2.1 Podstata a cíle racionalizace	- 21 -
2.2 Racionalizace provozu kyslíkového turbokompresoru KTK 1	- 22 -
2.3 Kyslíkový turbokompresor KTK 1	- 23 -
2.3.1 Technické údaje KTK 1	- 24 -
2.3.2 Popis soustrojí	- 24 -
2.3.3 Řídící systém KTK1	- 28 -
2.3.4 Řízení provozu KTK 1	- 28 -
2.3.5 Ochrany KTK 1	- 30 -
2.3.6 Charakteristika provozních časů KTK 1	- 30 -
3. Návrh na zdokonalení systému	- 33 -
3.1 Koeficient provozního využití kompresoru	- 33 -
3.2 Teoretické poznatky vedoucí k úsporám energie při kompresi.....	- 35 -
3.2.1 Vliv chlazení plynu při kompresi.....	- 35 -
3.2.2 Vliv kompresního poměru	- 36 -
3.2.3 Sledování provozního stavu kompresoru	- 36 -

3.3	Zvyšování efektivity využití elektrické energie v čase hlavního chodu.....	- 37 -
3.4	Energetická náročnost KTK 1 v čase pomocného chodu	- 38 -
3.5	Pompáže při procesu odlehčování	- 38 -
3.6	Návrh na zlepšení současného stavu	- 39 -
4.	Návrh metodického přístupu k řešení dané problematiky.....	- 40 -
4.1	Příčiny vysoké energetické náročnosti pomocného chodu KTK 1	- 40 -
4.2	Rozbor zjištěných skutečností	- 40 -
4.2.1	Škrticí klapa	- 40 -
4.2.2	Přepouštěcí ventil	- 41 -
4.3	Zvýšení průtočného výkonu přepouštěcího ventilu.....	- 42 -
4.4	Výměna škrticí klapky	- 45 -
4.5	Přínos navrhovaných úprav	- 46 -
5.	Celkové zhodnocení navrženého řešení	- 47 -
5.1	Technické zhodnocení.....	- 47 -
5.2	Ekonomické zhodnocení	- 47 -
5.2.1	Investiční náklady projektu.....	- 47 -
5.2.2	Výpočet MS KTK 1 za provozních podmínek roku 2008.....	- 48 -
5.2.3	Výpočet MS KTK 1 po racionalizaci	- 50 -
5.2.4	Úspora MS KTK 1	- 51 -
5.2.5	Úspora elektrické energie za hodinu provozu	- 52 -
5.2.6	Úspora nákladů na elektrickou energii zavedením racionalizace.....	- 52 -
5.3	Doba návratnosti investovaných peněžních prostředků	- 53 -
5.3.2	Závislost doby návratnosti na době provozu KTK 1	- 54 -
6.	Závěr.....	- 56 -
	Poděkování	- 57 -
	Literatura	- 58 -

Seznam použitých značek:

C_{EE}	variabilní část ceny elektrické energie [Kč/kWh]
D_n	doba návratnosti investovaných financí [let]
$EE_{KTK\ 1}$	množství elektrické energie spotřebované KTK 1 [kWh]
$EE_{KTK\ 2}$	množství elektrické energie spotřebované KTK 2 [kWh]
$EE_{KTK\ 3}$	množství elektrické energie spotřebované KTK 3 [kWh]
$EE_{KPK\ 1}$	množství elektrické energie spotřebované KPK 1 [kWh]
$EE_{KPK\ 2}$	množství elektrické energie spotřebované KPK 2 [kWh]
EE_R	množství elektrické energie spotřebované KTK 1 po racionalizaci [kWh]
GOX	gas oxygen – plyný kyslík
I_c	celkové náklady na realizaci racionalizace [Kč]
KTK	kyslíkový turbokompresor
KPK	kyslíkový pístový kompresor
LOS	zkapalňovač kyslíku
LOX	liquid oxygen - kapalný kyslík
MS	měrná spotřeba elektrické energie komprese kyslíku [kWh/1000 Nm ³]
N_c	náklady, které uspoříme zavedením racionalizace za určitou dobu provozu [Kč]
NKP	nízkotlaký kyslíkový přístroj
Nm ³	objem plynu při teplotě 15 °C a tlaku 101,325 kPa
NT	nízkotlaká část turbokompresoru
PV	koeficient provozního využití
$Q_{KTK\ 1}$	množství kyslíku dodaného KTK 1 [Nm ³]
$Q_{O_2\ DO\ SÍŤ}$	množství kyslíku dodaného do potrubní sítě [Nm ³]
$Q_{PR.}$	průměrné množství kyslíku dodané KTK 1 za hodinu [Nm ³ /h]
R	plynová konstanta [kJ/kg.K]
T	absolutní teplota plynu [K]
UL1	ekologická bezazbestová porézní hmota do acetylénových lahví pro rozpouštědlo aceton
\dot{U}_{EE}	úspora elektrické energie za hodinu provozu [kW/h]

$\dot{U}_{K\check{c}}$	úspora Kč za hodinu provozu [Kč/h]
\dot{U}_{MS}	úspora MS elektrické energie [kWh/1000 Nm ³]
$\dot{U}_{P\check{R}.}$	předpokládaná úspora elektrické energie [kW/h]
V	objem plynu [m ³]
VT	vysokotlaká část turbokompresoru
W	ideální kompresní práce [J/kg]
W_a	práce skutečně vynaložená na kompresi [J/kg]
n	látkové množství [mol]
p	absolutní tlak plynu [Pa]
p_1	absolutní tlak sací [Pa]
p_2	absolutní tlak výtlačný [Pa]
t_p	doba provozu [h]
t_z	doba provozu v zatíženém stavu [h]
$t_{odl.}$	doba provozu v odlehčeném stavu [h]
η	účinnost kompresoru
μ	kompresní poměr

Úvod:

Absolutní většina průmyslových podniků se v současné době nachází pod stále silnějším tlakem rostoucí globální konkurence. Úspěšnost a konkurenceschopnost firmy je dána efektivitou a flexibilitou výrobních procesů. Výroba produktů úspěšných na trhu podléhá neustálým tlakům a výzvám - přinášejí je jak požadavky poptávajících, tak i používané technologie a infrastrukturní změny makroprostředí, ve kterém se firma pohybuje. Podnik musí umět na takovou situaci včas reagovat permanentní diferenciací produktů a s nimi souvisejících poskytovaných služeb. Musí přizpůsobit systém řízení a organizaci firmy tak, aby optimálně využíval vnitřní zdroje v celém rozsahu podnikatelského procesu. Nákladový tlak nutí podniky, aby kontinuálně urychlovaly racionalizaci.

Racionalizace a optimalizace výroby je dnes často skloňovaným termínem. Základní současná výzva zní: jakým způsobem redukovat vše, co zvyšuje náklady výrobku nebo služby, aniž by zvyšovalo jejich hodnotu? Podnik pracuje efektivně, pokud v maximální míře využívá energii, stroje, materiál a pracovní sílu.

V segmentu výroby technických plynů je největší úsilí směřováno ke snižování energetické náročnosti komprese plynů ve všech fázích jejich výroby a dodávky. Výroba technických plynů a rovněž jejich následná potrubní dodávka k zákazníkům klade vysoké nároky na spotřebu elektrické energie. V závislosti na technické a technologické úrovni výrobního zařízení je výše nákladů více či méně negativně ovlivňována stoupající cenou této komodity. Nutnost udržet přijatelnou výši nákladů nebo alespoň zmírnit jejich nárůst motivuje výrobce k hledání využitelných rezerv v celém výrobním systému podniku. Z výše uvedených skutečností vyplývá, že efektivní využívání elektrické energie pro pohon kompresorů je nezbytné - nejen z hlediska nákladů firmy, ale také pro naplňování požadavků environmentální a energetické legislativy.

Cílem mé bakalářské práce je nalézt rezervy ve využití elektrické energie pro kompresi kyslíku a navrhnout možná řešení jejich odstranění. Výsledkem procesu racionalizace kyslíkového turbokompresoru by pak mělo být snížení energetické náročnosti jeho provozu.

1. Analýza současného stavu

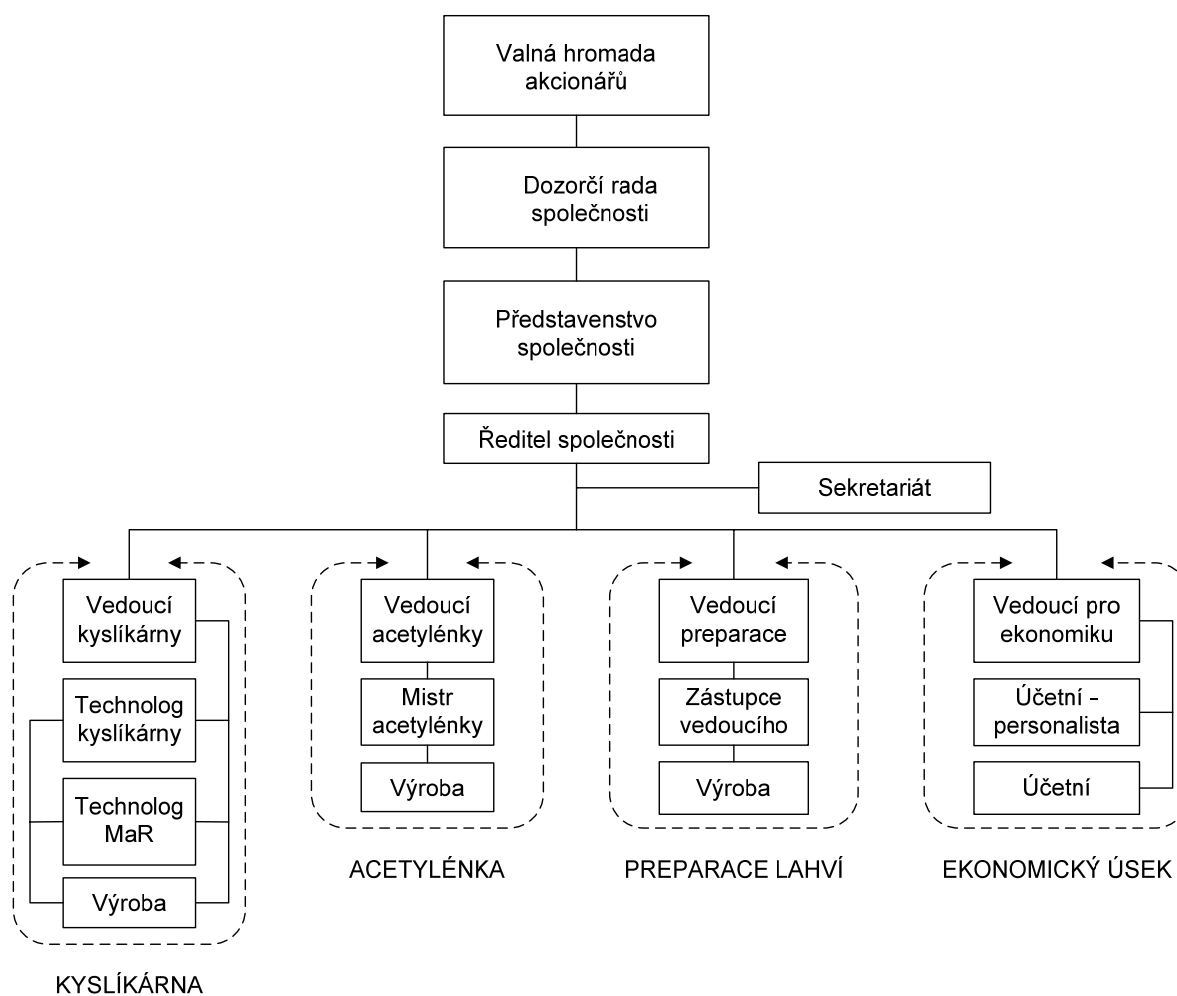
1.1 Představení společnosti LINDE VÍTKOVICE a.s.

Akciová společnost LINDE VÍTKOVICE vznikla na základě rozhodnutí zakladatelů AGA AB a VÍTKOVICE a.s. dne 29. dubna 1992 pod názvem AGA-VÍTKOVICE a.s. Společnost sídlí v Ostravě-Hulvákách. Firma navazuje na zkušenosti a tradice výroby technických plynů ve Vítkovicích. Na začátku byla tvořena jen kyslíkárnou s produkcí pouze plynného kyslíku, dusíku a argonu. Prvním výsledkem působení významného světového výrobce technických plynů - firmy AGA ve společnosti bylo v roce 1993 zahájení výroby kapalného kyslíku a dusíku na nově vybudovaném zkapalňovači. Další významnou investicí byla výstavba druhého provozu - výroby acetylénu. V roce 1994 zahájilo středisko acetyléna výrobu, potrubní dodávku acetylénu do Vítkovic a plnění acetylenových lahví. Od roku 1996 byla produkce kyslíkárny rozšířena o plynnou dusíko-vodíkovou směs. V roce 2001 se firma AGA AB stala součástí koncernu LINDE AG, dne 7. března 2002 následovala změna obchodního jména z AGA-VÍTKOVICE na LINDE VÍTKOVICE a.s. V roce 2004 došlo k dalšímu rozšíření společnosti o závod preparace acetylenových lahví v Ústí nad Labem.

Také v současné době se společnost orientuje na výrobu technických plynů a dále na montáž, opravy, revize a zkoušky vyhrazených plynových zařízení, zejména lahví na technické plyny. Provádí plnění nádob technickými plyny a likvidace vyřazených tlakových acetylenových lahví. Výroba je rozdělena do tří samostatných areálů: kyslíkárny, acetylenky a preparace. Společnost se od svého vzniku neustále vyvíjí a modernizuje. Objem tržeb za prodané vlastní výrobky se v posledních letech pohybuje na úrovni 0,5 miliardy Kč. Firma je jedním z významných výrobců technických plynů v ČR. V současné době se na výsledcích společnosti podílí 111 zaměstnanců.

1.2 Organizační struktura

Společnost LINDE VÍTKOVICE a.s. se člení na tři výrobní střediska, která mají vlastní vedení. Celá společnost je pak řízena generálním ředitelem a má společný ekonomický útvar.



Obr. 1: organizační schéma

1.3 Politika jakosti

Bezpečnost výrobního procesu a jakost produktů je prioritou celé společnosti. LINDE VÍTKOVICE a.s. si uvědomuje význam naplnění smluvních dodávek produktů pro uspokojování potřeb svých zákazníků.

Výroba a dodávky produktů musejí být uskutečněny v souladu se záměry společnosti, a to:

- pohotově, spolehlivě a plynule, podle požadavků zákazníka
- při dodržení zákazníkem požadovaných kvalitativních znaků
- bezpečně
- hospodárně za dohodnutou cenu
- při šetrném vlivu na životní prostředí
- při zajištění rozvoje společnosti, umožňujícího včas reagovat na změny požadavků zákazníků i změny v legislativní nebo technologické oblasti

Pro výrobu technických plynů, revize a zkoušky vyhrazených plynových zařízení, montáž a opravy vyhrazených plynových zařízení a plnění tlakových nádob na plyny je firma držitelem následujících certifikátů:

- certifikát managementu jakosti ISO 9001:2000
- certifikát systému managementu bezpečnosti a ochrany zdraví při práci OHSAS 18001:1999
- certifikát systému environmentálního managementu ISO 14001:2004

Dále má firma osvědčení podle vyhlášky č. 296/2000 Sb. vydané Státním ústavem pro kontrolu léčiv pro správnou výrobní praxi kapalného medicínálního kyslíku.

1.4 Středisko kyslíkárna

Středisko kyslíkárna sídlí v Ostravě-Hulvákách. V objektech kyslíkárny jsou vyráběny, skladovány a stlačovány tyto technické plyny:

- plyný kyslík
- plyný surový dusík
- plyný čistý dusík
- plyná dusíko-vodíková směs
- kapalný kyslík technický a medicínální
- kapalný dusík
- kapalný argon

Veškerá plyná produkce kyslíkárny je potrubím dodávána ke spotřebitelům ve společnostech Vítkovice Holding a.s. a Vítkovice Steel a.s. Kapalně plyny jsou odebírány a cisternami dopravovány k zákazníkům společnosti Linde Gas a.s.

1.5 Středisko acetyléna

Středisko acetyléna se nachází v průmyslové zóně v Ostravě-Vítkovicích. Produktem acetyléna je plyný acetylén dodávaný:

- v acetylénových lahvích
- v acetylénových svazcích
- potrubní sítí

Acetylén plněný do lahví a svazků je distribuován k zákazníkům společnosti Linde Gas a.s. Potrubní acetylén se ke spotřebitelům dostává prostřednictvím potrubní sítě.

1.6 Středisko preparace lahví

Středisko preparace lahví sídlí v Ústí nad Labem a zabývá se:

- výrobou plnicí hmoty UL1
- plněním této hmoty do acetylénových lahví
- renovací acetylénových lahví
- tlakovými zkouškami lahví na technické plyny
- likvidací starých acetylénových lahví
- výrobou svazků vysokotlakých lahví

1.7 Výroba plynného kyslíku

Výroba plynného kyslíku probíhá v nízkotlakých kyslíkových přístrojích (NKP). Plynný kyslík se vyrábí rektifikací atmosférického vzduchu stlačeného vzduchovými kompresory na tlak 500 kPa, v kolonovém systému NKP. Stlačený vzduch prochází regenerátory, kde je podchlazen na teplotu -165°C . Dále proudí do dolní kolony. Zde se uskutečňuje jeho hrubé rozdělení na kyslíkovou kapalinu (38% O_2), plynný a kapalný dusík. Kapalné produkty dolní kolony jsou vedeny přímo do horní kolony. V horní koloně probíhá finální rozdělení vzduchu na kapalný kyslík, který se shromažďuje v hlavním kondenzátoru a plynný surový dusík, který odchází z hlavy horní kolony. Plynný dusík z dolní kolony je zkapalňován v přídavném kondenzátoru na úkor zplynění kapalného kyslíku z hlavního kondenzátoru. Poté je rovněž veden do horní kolony. Plynný kyslík vystupuje z NKP o čistotě minimálně 99,5 % O_2 , surový dusík má čistotu minimálně 95,0 % N_2 .

Oba produkty jsou dále stlačovány kompresory a dodávány do potrubních sítí odběratelů. LINDE VÍTKOVICE a.s. má k dispozici čtyři bloky NKP 1 – NKP 4. Běžně jsou provozovány tři a jeden blok je v záloze.

Tab. 1: jmenovité výkony NKP

	Plyn	Množství [Nm ³ /h]	Čistota plynu [%]
NKP 1	vstupní vzduch	30 000	
	kyslík	5 000	99,50
	dusík	23 400	95,00
NKP 2	vstupní vzduch	30 000	
	kyslík	5 000	99,50
	dusík	23 400	95,00
NKP 3	vstupní vzduch	30 000	
	kyslík	5 000	99,50
	dusík	23 400	95,00
NKP 4	vstupní vzduch	30 000	
	kyslík	5 000	99,50
	dusík	22 000	95,00
	dusík	3 000	99,999
	argon	40	99,999

1.7.1 Řízení výroby plynného kyslíku

Vyrobený plynný kyslík je rozdělován mezi potrubní dodávku a zkapalňování. Mezi výrobou a dodávkou kyslíku do sítě a zkapalňovače plní funkci meziskladu plynojem. Jeho objem 2000 m³ však poskytuje prostor pro vyrovnávání rozdílu mezi výrobou a spotřebou kompresorů a zkapalňovače pouze krátkodobě. Na základě vývoje výše spotřeby odběratelů a výkonu zkapalňování je regulována výroba kyslíku v dělicích aparátech, a to snižováním, respektive zvyšováním množství vzduchu do aparátů. Měřítkem bilance mezi výrobou a spotřebou kyslíku je vývoj hladiny plynojemu. Nedostatek výroby kyslíku vede k poklesu hladiny plynojemu na minimální mez a k nutnosti buď zvýšit výrobu, nebo omezit objem dodávky do sítě, případně výkon zkapalňování. Naopak nadvýroba vede k naplnění plynojemu a následně k odfukům vyrobeného kyslíku do atmosféry.

Cílem celého procesu řízení výroby a dodávky je stav, kdy je všechen vyrobený kyslík dodán do sítě nebo zkapalněn ve zkapalňovači. V praxi však často nastává situace, kdy je výše dodávky do sítě a do zkapalňovače nižší než nejnižší možný objem výroby a přebytečný kyslík je proto odfoukáván do atmosféry. Takový provoz není rentabilní.

1.8 Dodávka plynného kyslíku do sítě

Kyslík vystupuje z NKP do potrubního systému, na který je napojeno sání kyslíkových kompresorů a kyslíková část zkapalňovače kyslíku. Na tento potrubní systém je také napojen plynojem. Potrubí je ukončeno odfukovou armaturou kyslíku pro vypouštění do atmosféry. Protože plynný kyslík vyrobený v NKP má tlak pouze 2 kPa, je nutné jej komprimovat na parametry požadované spotřebiteli. Tlak dodávaného kyslíku se pohybuje v závislosti na velikosti odběru v síti od 1000 do 1500 kPa.

Pro zajišťování dodávky plynného kyslíku odběratelům je středisko kyslíkárna vybaveno třemi kyslíkovými turbokompresory KTK 1, KTK 2, KTK 3 a dvěma pístovými kompresory KPK 1 a KPK 2.

Tab. 2: jmenovité výkony a MS elektrické energie kyslíkových kompresorů

Kompresor	Dodávané množství [Nm ³ /h]	MS elektrické energie [kWh/1000 Nm ³]
KTK 1	11 400	169
KTK 2	11 400	169
KTK 3	5000	170
KPK 1	2400	158
KPK 2	2400	158

1.8.1 Řízení dodávky plynného kyslíku do sítě

Výše dodávky kyslíku do potrubní sítě je řízena na základě vývoje spotřeby odběratelů. Plynný kyslík je odebírán společnostmi Vítkovice Steel a.s. a Vítkovice Holding a.s. a používán v technologiích výroby oceli a ostatních produktů. Vzhledem k povaze těchto výrob je dodávka kyslíku zajišťována nepřetržitě. Odběr kyslíku kolísá vlivem průběhu taveb kyslíkových konvertorů na ocelárně, což při rovnoměrné výši dodávky způsobuje nárůsty a poklesy tlaku v síti. Vliv provozu ostatních technologií spotřebitelů se na podmínkách v síti projevuje v menší míře. Potrubní síť se svým tlakovým potenciálem plní funkci zásobníku stlačeného kyslíku. Podmínkou provozu kyslíkových konvertorů na ocelárně společnosti Vítkovice Steel je minimální hodnota tlaku v síti 1000 kPa. Maximální tlak je omezen technickými parametry sítě na hodnotu 1500 kPa.

Pro udržení tlaku v síti v uvedených mezích je při maximálních spotřebách odběratelů provozován nejvýkonnější turbokompresor KTK 1. Pokud jeho výkon nestačí, je dodávka posilována záskokovým systémem odpařování kapalného kyslíku. Při nižších spotřebách zajišťují dodávku méně výkonné kompresory KTK 3, KPK 1 a KPK 2. Při dosažení maximálního tlaku v síti je dodávka kyslíku automaticky přerušena odlehčením turbokompresoru. Turbokompresor je opět zatížen po poklesu tlaku v síti na nastavenou mez. Pístové kompresory jsou zastavovány operátorem.

1.8.2 Vyhodnocování energetické náročnosti dodávky kyslíku do sítě

V systému bilancí je denně kalkulována energetická náročnost výroby a dodávky všech produktů kyslíkárny. Na základě údajů o celkové spotřebě elektrické energie jednotlivými kyslíkovými kompresory a celkovém dodaném množství kyslíku do sítě, změřeném obchodním měřidlem, je počítána MS elektrické energie komprese kyslíku (kompresní práce) podle vzorce:

$$MS = \frac{(EE_{KTK\ 1} + EE_{KTK\ 2} + EE_{KTK\ 3} + EE_{KPK\ 1} + EE_{KPK\ 2}) * 1000}{Q_{O_2\ DO\ SÍTĚ}} \quad [kWh/1000\ Nm^3]$$

Kde:

MS	měrná spotřeba elektrické energie komprese kyslíku [kWh/1000 Nm ³]
$EE_{KTK\ 1}$	množství elektrické energie spotřebované KTK 1 [kWh]
$EE_{KTK\ 2}$	množství elektrické energie spotřebované KTK 2 [kWh]
$EE_{KTK\ 3}$	množství elektrické energie spotřebované KTK 3 [kWh]
$EE_{KPK\ 1}$	množství elektrické energie spotřebované KPK 1 [kWh]
$EE_{KPK\ 2}$	množství elektrické energie spotřebované KPK 2 [kWh]
$Q_{O_2\ DO\ SÍTĚ}$	množství kyslíku dodaného do potrubní sítě [Nm ³]

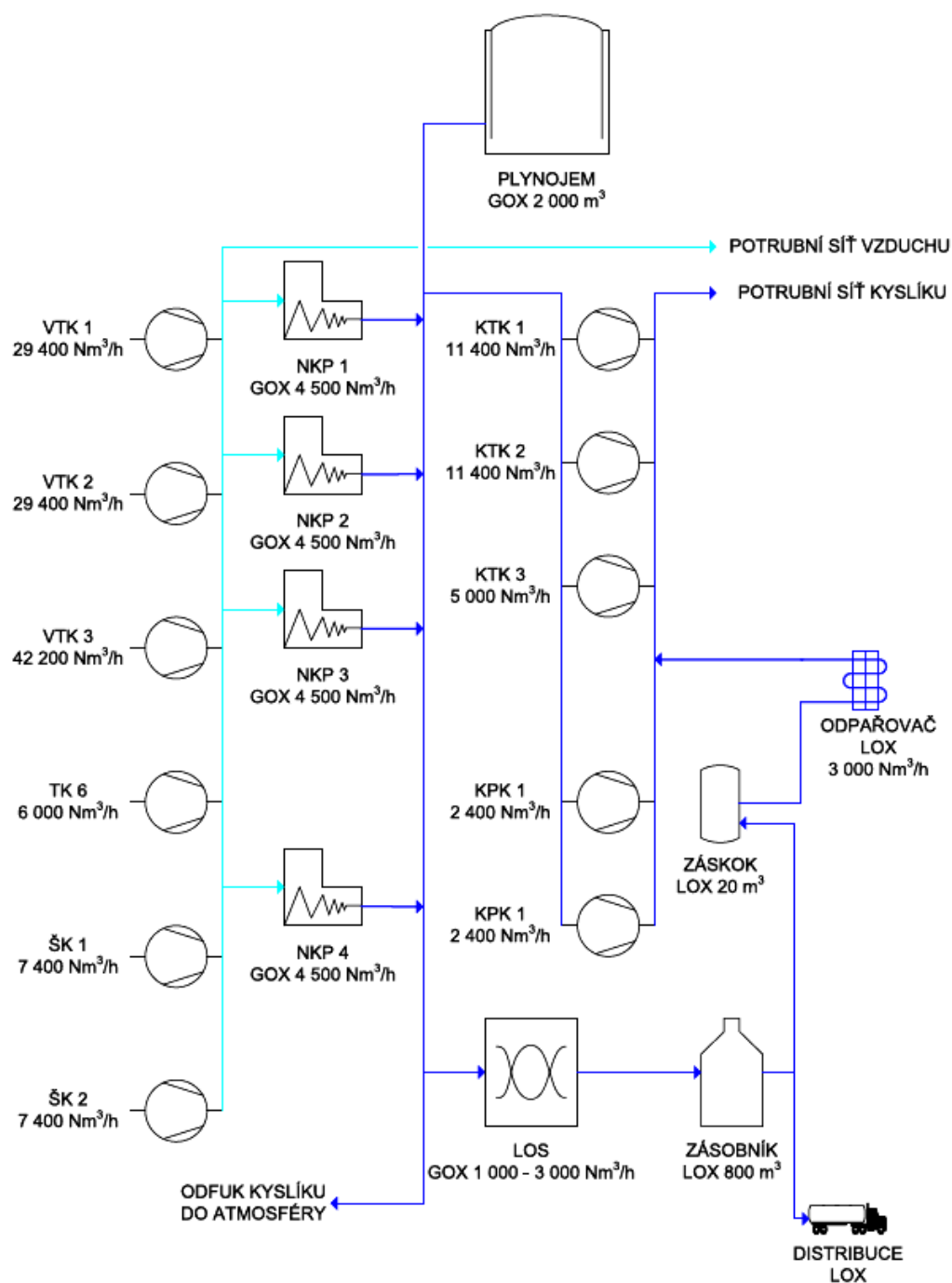
Vypočtená hodnota je porovnávána s plánovanou hodnotou MS. Výsledkem je snížení, respektive překročení plánovaných nákladů na kompresní práci kyslíku.

1.9 Výroba kapalného kyslíku

Kapalný kyslík je vyráběn ve zkapalňovači kyslíku a dusíku LOS. Plynný kyslík je přiveden do výměníkové části zkapalňovače a po zkapalnění čerpán do zásobníku kyslíku, odkud je cisternami distribuován k zákazníkům a podle potřeby přečerpáván do zásobníku záskokového systému kyslíku.

1.9.1 Řízení zkapařování kyslíku

Objem výroby kapalného kyslíku je regulován podle vývoje hladiny v kyslíkovém zásobníku a podle výše dodávky kyslíku do sítě. Trend hladiny v zásobníku je výsledkem bilance mezi výkonem zkapařovače a četností odvozů ze zásobníku. Výkon zkapařovače je variabilní v rozmezí 1000 Nm³/h a 3000 Nm³/h.



Obr. 2: blokové schéma výroby a dodávky kyslíku v LINDE VÍTKOVICE a.s.

2. Hodnocení současné funkce

2.1 Podstata a cíle racionalizace

Podstatou racionalizace je nepřetržité zdokonalování výrobního systému.

Cílem je výrobní proces probíhající se stále vyšší úrovni techniky, technologie, organizace práce, výroby i řízení.

Základem racionalizace je odstranění zbytečných ztrát a využití existujících rezerv. Zároveň směřuje k zavádění nových technických a organizačních opatření.

Racionalizační opatření:

Soubor technicko-organizačních a psychologických metod, postupů a opatření, vedoucích ke zvýšení produktivity práce.

Cíl racionalizace:

Maximální zvýšení produktivity při minimálních investicích. Racionalizace je vždy podložena ekonomickou kalkulací, směřuje k rentabilitě a hospodárnosti.

Základní postup racionalizace:

- poznání (analýza) pracovního systému
- posouzení funkce současného pracovního systému
- generování racionalizačních opatření
- realizace opatření
- vyhodnocení přínosů ¹

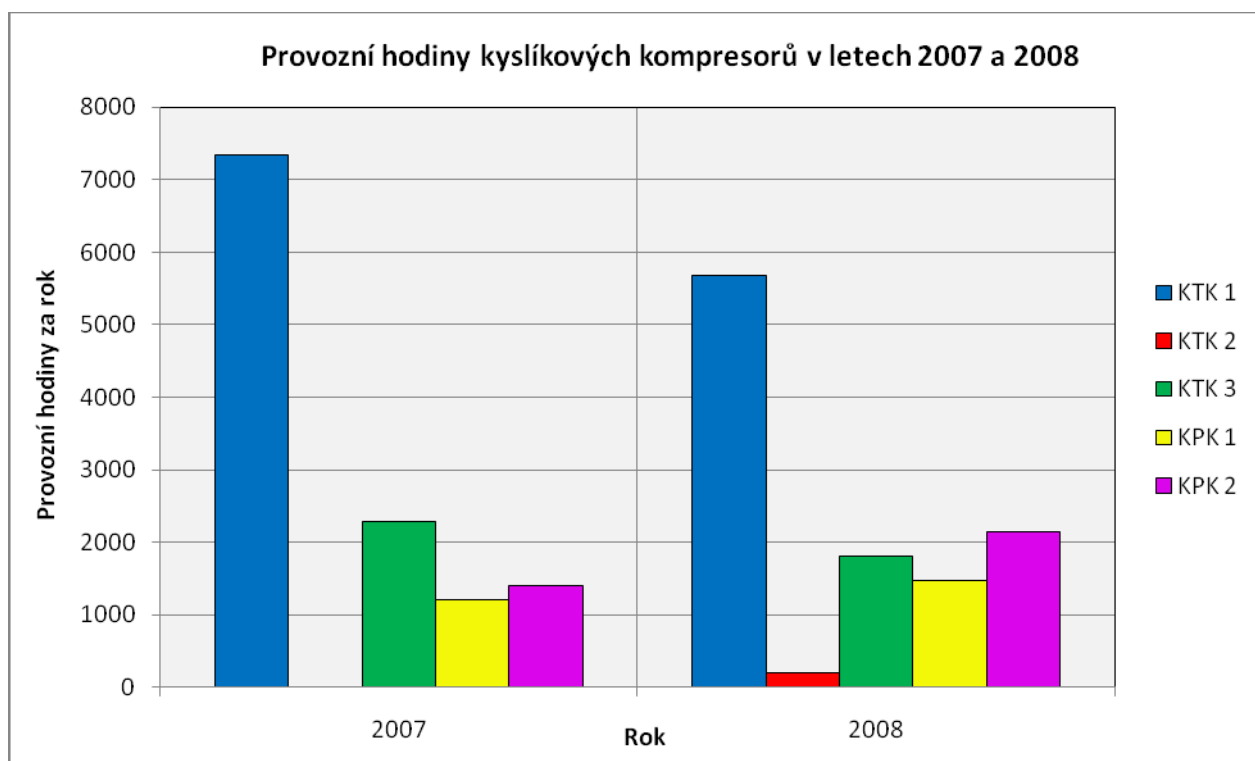
¹ *Racionalizace výroby* [online]. Ostrava (Česká republika): FS Vysoká škola báňská - Technická universita Ostrava, 2008- . [cit.2009-03-12]. URL: <http://www.fs.vsb.cz/euprojekty/414/racionalizace-vyroby.pdf>. Podstata a cíle racionalizace, str. 5 - 6.

2.2 Racionalizace provozu kyslíkového turbokompresoru KTK 1

Na základě analýzy charakteristik provozu jednotlivých druhů kompresorů podle dodávaných médií na kyslíkárně jsem dospěl k závěru, že vhodným objektem pro racionalizaci provozu je kyslíkový turbokompresor KTK 1.

Důvody pro racionalizaci provozu KTK 1

- vysoké časové vytížení
- dosahovaná měrná spotřeba elektrické energie
- charakteristika provozu
- zvýšení bezpečnosti provozu
- návratnost vložených investic



Graf č. 1: přehled provozních časů kyslíkových kompresorů v letech 2007 a 2008

2.3 Kyslíkový turbokompresor KTK 1

Soustrojí kyslíkového turbokompresoru je umístěno v hale strojovny kyslíkárny. V suterénu pod kompresorem se nachází jeho olejové hospodářství, sací a výtlačný potrubní systém. Ucpávkový systém kompresoru zasahuje jak do suterénu, tak do prvního podlaží.



Obr. 3: soustrojí kyslíkového turbokompresoru KTK 1

2.3.1 Technické údaje KTK 1

Výrobce	ČKD Praha
Typ	TK-0-143-5614
Nasávané množství	11 400 Nm ³ /hod.
Tlak na sacím hrdle	100 kPa
Teplota na sacím hrdle	20 °C
Tlak na výtlačném hrdle	1600 kPa
Teplota na výtlačném hrdle	150 °C
Příkon na spojce TK	1930 kW
Otáčky turbokompresoru	9 200/min.

2.3.2 Popis soustrojí

Turbokompresor

Vlastní turbokompresor je proveden jako dvoutělesový stroj. Obě tělesa, nízkotlaké (NT) a vysokotlaké (VT), jsou umístěna za sebou a mají stejné otáčky.

Rotory obou těles jsou uloženy v kluzných ložiscích na sací straně včetně axiálního ložiska. Utěsnění jednotlivých kol rotoru a vyrovnávacích pístů je provedeno labyrintovými ucpávkami.

Kyslík je během komprese zchlazován ve dvou mezichladičích umístěných za druhým a čtvrtým oběžným kolem NT, dále v mezitělesovém chladiči umístěném mezi NT a VT a konečně ve spouštěcím chladiči, který je umístěn mezi přepouštěcím ventilem č. 35 a sacím potrubím. Zde se zchlazuje přepouštěný kyslík.

Přepouštěcí ventil včetně přepouštěcího chladiče umožňuje provoz i v případě, kdy je nasávané množství menší než pompážní hranice, na libovolně dlouhý provoz jen na spouštěcím okruhu při úplném zastavení dodávky do sítě.

Elektromotor

Celé soustrojí je poháněno horizontálním synchronním elektromotorem s vlastním budičem. Elektromotor je zchlazován cirkulačním vzduchovým chlazením přes vodní chladič, umístěným v kobce pod ním. Rotor elektromotoru je uložen v kluzných ložiscích. Pro měření teplot chladícího vzduchu, statorového tělesa a vinutí jsou zabudovány odporové teploměry.

Převodová skříň

Hnací moment z elektromotoru se přenáší pevnou spojkou na pomaluběžnou hřídel převodové skříně a z rychloběžné hřídele pomocí zubových dilatačních spojek na rotory NT a VT. Všechna ložiska převodové skříně jsou kluzná.

Převod je proveden jedním párem čelních ozubených kol se šípovým ozubením. Pomaluběžnou hřídelí je poháněno hlavní olejové čerpadlo.

Olejové hospodářství

Pro mazání ložisek, zubových dilatačních spojek a ozubení převodové skříně je soustrojí vybaveno vlastním olejovým hospodářstvím.

Za provozu je olej nasáván z olejové nádrže hlavním olejovým čerpadlem, které jej vytlačuje potrubím přes olejové chladiče, čtyřcestným kohoutem a filtrem mechanických nečistot do příslušných mazacích míst.

Výtlačné potrubí je spojeno s olejovou nádrží přepouštěcím ventilem, který umožňuje nastavení žádaného tlaku v olejovém potrubí před clonou. Clona umístěná ve výtlačném olejovém potrubí za přepouštěcím ventilem slouží k docílení žádaného tlaku mazacího oleje. Olej je také přiváděn k hlídači axiálního posuvu.

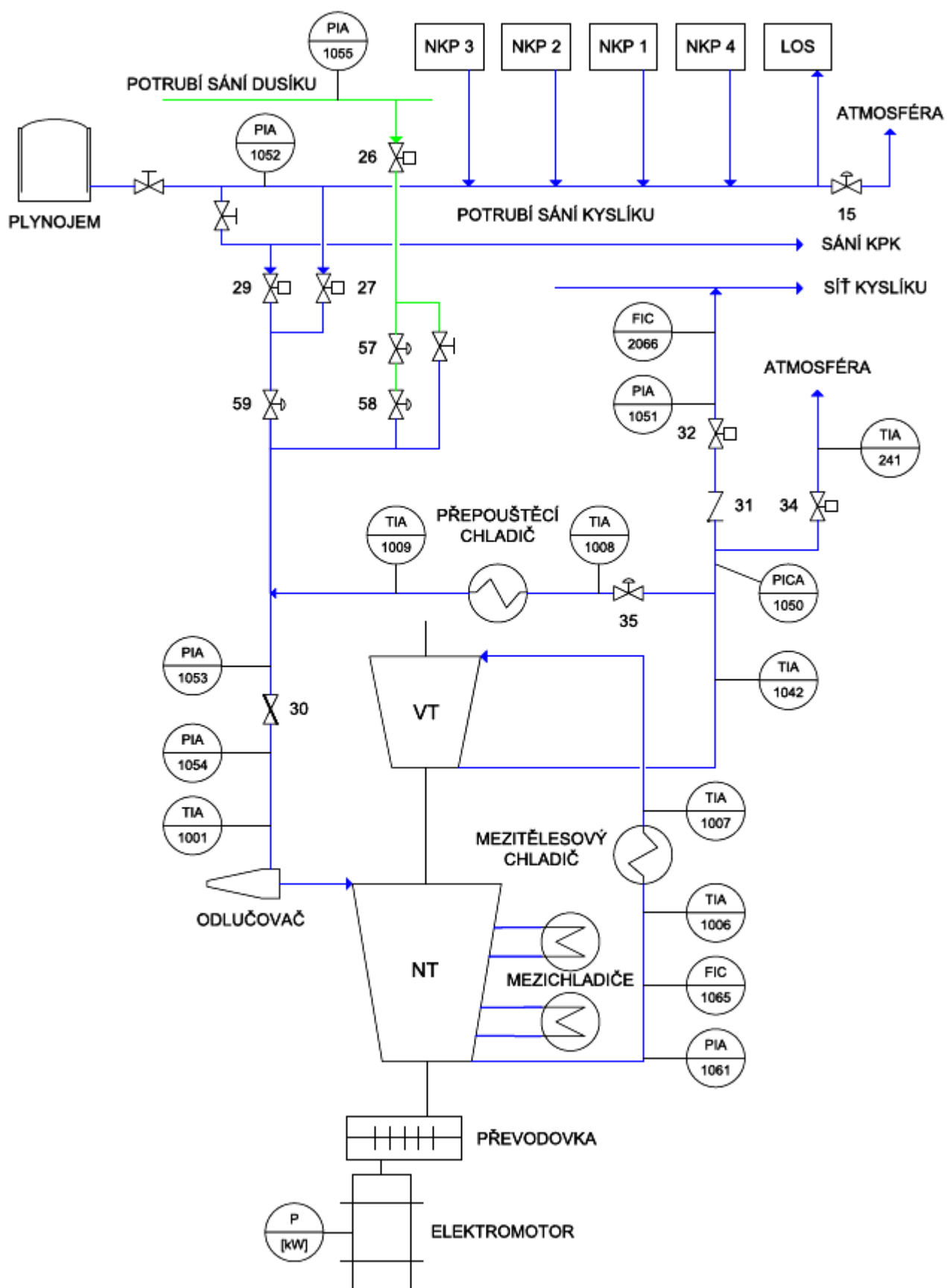
Při spouštění a doběhu stroje je v provozu pomocné olejové čerpadlo poháněné vlastním elektromotorem. V tomto případě je olej nasáván z nádrže pomocným olejovým čerpadlem. Pomocné olejové čerpadlo je vybaveno pojišťovacím ventilem, který v případě zvýšení tlaku nad předepsanou mez přepouští olej zpět do sání čerpadla. Soustrojí je mazáno trvanlivým olejem TB 46.

Potrubní systém

Na sací straně je soustrojí odděleno od kyslíkového přívodu elektrickými šoupátky č. 27 sání z potrubí v hale, č. 29 sání z potrubí ve strojovně a rychlouzavíracím ventilem č. 59. Od dusíkového přívodu je soustrojí odděleno elektrickým šoupátkem č. 26 a rychlouzavíracími ventily č. 57 a 58. Tyto rychlouzavírací ventily jsou ovládány pneumaticky přes elektromagnetická šoupátka. Dále je v sacím potrubí umístěna škrťací klapa č. 30. Na výtlaku je soustrojí vybaveno přepouštěcím ventilem č. 35, zpětnou klapou č. 31 proti zpětnému tlaku O_2 a N_2 ze sítě a výtlačným šoupátkem č. 32. S atmosférou je soustrojí spojeno výfukovým elektrickým ventilem č. 34.

Ucpávkový systém soustrojí

Aby nedocházelo přes ucpávky soustrojí k úniku čistého O_2 do strojovny, popřípadě k nasávání olejových par z ložisek, je soustrojí NT a VT vybaveno koncovými labyrintovými ucpávkami, které jsou z vnější strany zahlcovány vzduchem. Do strojovny pak uniká směs vzduchu a kyslíku (max. 60% O_2). U NT je kyslíkem unikajícím přes vyrovnávací píst zahlcována sací ucpávka (z vnitřní strany) a zbytek je veden do sběrné větve společně s kyslíkem, který uniká z obou ucpávek VT. Sběrná větev je zavedena do sacího potrubí před sací klapu č. 30. Kyslík, unikající z vyrovnávacího pístu VT, je zaveden do sání VT před mezitělesový chladič.



Obr. 4: schéma kyslíkového turbokompresoru KTK 1

2.3.3 Řídicí systém KTK1

Řízení turbokompresoru je uskutečňováno pomocí řídicího automatu PLC 5 Allen Bradley, který obsahuje řídicí software, teplotní a komunikační karty. Na PLC 5 jsou napojeny rozšiřující vany s digitálními a analogovými vstupními a výstupními kartami systému Allen Bradley řady SLC 500. Komunikace řídicího automatu s periferiemi kompresoru se uskutečňuje signály 0 – 24 V DC a 0 – 230 V AC v případě digitálních vstupů a výstupů. Analogové signály jsou přenášeny na úrovni 0 - 20 mA.

Ovládání celého kompresoru a vizualizace jeho provozních stavů je řešena pomocí operátorských stanic PC na velíně, využívajících vizualizační prostředí CITECT. Operátor řídí jednotlivé akční členy kompresoru pomocí ovládacích oken, která umožňují intuitivní ovládání prostřednictvím lokální nabídky pro zvolený prvek (ventil, motor či jiný akční člen). K dispozici má rovněž ovládací a stavové informace spojené s daným elementem v různých provozních režimech zařízení.

Systém také zajišťuje analýzu a archivaci dat z technologického procesu. V podobě trendů zobrazuje operátorům změny procesních veličin, případně historický pohled například na průběhy dodávaného množství, tlaků atd. společně s monitorováním procesních veličin archivuje i záznamy o poruchách a varováních.

2.3.4 Řízení provozu KTK 1

KTK 1 je regulován škrcením v sání, které se provádí změnou otevření škrtící klapky v sacím potrubí kompresoru. Je to nejběžnější způsob regulace radiálních turbokompresorů poháněných elektromotorem při stálých otáčkách, energeticky však málo hospodárný. KTK 1 je rovněž vybaven antipompážní regulací, která reaguje na možnou pompáž otevřením přepouštěcího ventilu na výstupu s následným přepouštěním plynu do sání po seškrcení a ochlazení na požadovanou hodnotu.

KTK 1 lze provozovat v automatickém nebo ručním režimu. Bez ohledu na zvolený režim provozu jsou rozhodujícími parametry pro regulaci množství stlačovaného kyslíku, tlak v potrubní síti na výtlačku a výše hladiny plynojemu na sání kompresoru.

Pompáž kompresoru

K pompáži dochází při odběru, který odpovídá nestabilní oblasti kompresoru. Na výstupu z kompresoru dojde k seškrvení průtočného množství nebo vzrůstu protitlaku. Po dosažení kritického bodu přechází provoz stroje skokem do oblasti zpětného proudění. Plyn proudí z výtlaku zpět do sání, tlak v soustavě klesá. Po dosažení nejnižší hodnoty se vrací provoz kompresoru opět skokem do pracovních podmínek stabilní větve. Celý proces se opakuje s velkou frekvencí záviselící na vlastnostech soustavy kompresor - spotřebič.

Pumpování se projevuje kolísáním smyslu a velikosti proudu, což je spojeno s výrazným hlukem a nerovnoměrným zatížením celého soustrojí.²

Automatický režim

V tomto režimu je kompresor řízen řídicím systémem na základě naprogramovaných algoritmů regulátorů. K dispozici je regulace tlaková a množstevní.

Tlaková regulace

Při této regulaci je kompresor zatížen na maximální výkon a snaží se dosáhnout nastavený tlak regulátoru. Škrtkící klapa je otevřena na 100 % a přepouštěcí ventil uzavřen. Při dosažení nastaveného tlaku je kompresor odlehčen otevřením přepouštěcího ventilu a uzavřením škrtkící klapy. Po poklesu tlaku v síti na nastavenou úroveň je opět zatížen na maximum.

Množstevní regulace

Pokud je zapnuta množstevní regulace, kompresor udržuje nastavené množství na regulátoru přivíráním škrtkící klapy. Snížil-li se množství protékající kompresorem až na pompážní hranici, začne fungovat antipompážní regulace a kyslík je přepouštěn do sání pro udržení minimálního průtoku kompresorem.

² KAMINSKÝ, J. KOLARČÍK, K. PUMPRLA, O. *Kompresory*. 1. Vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2004 - 122 s. ISBN 80-248-0704-1. Energetické charakteristiky, str. 86.

Ruční režim

V tomto režimu řídí akční členy kompresoru operátor pomocí vizualizačního softwaru.

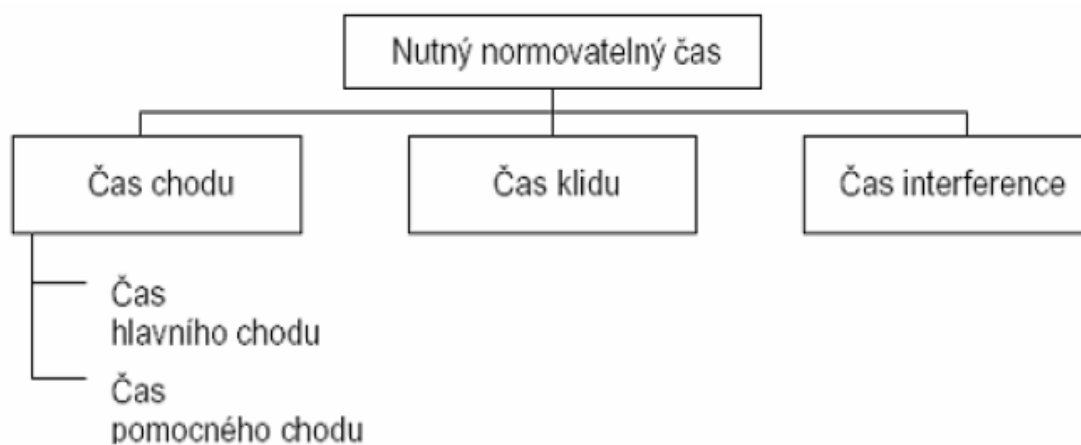
2.3.5 Ochrany KTK 1

Pro zamezení nepříznivých stavů provozu (např. při poruše řídicích orgánů), při kterých by mohlo dojít k poškození soustrojí, je KTK 1 vybaven ochranami, které ho při dosažení nepřípustných stavů odlehčí, případně zastaví.

Ochrany KTK 1 jsou:

- odlehčení na vysoký tlak ve výtlaku
- odlehčení na nízkou hladinu plynojemu
- odlehčení na nízký tlak v sání
- odlehčení na pompáž kompresoru
- zastavení při požáru
- zastavení při dosažení havarijního maxima měřených hodnot teplot, tlaků, vibrací atd.
- zastavení při poruše elektro části

2.3.6 Charakteristika provozních časů KTK 1



Obr. 5: členění provozních časů výrobního zařízení

Členění provozních časů výrobního zařízení

Čas chodu je doba činnosti daného výrobního zařízení, které je z technických důvodů nutné pro hospodárné splnění cíle dané výrobní operace. Čas chodu se dělí na:

Čas hlavního chodu je doba činnosti výrobního zařízení, po kterou toto zařízení plní svůj hlavní úkol, tj. po kterou zařízení přetváří pracovní předmět ve výrobek (polotovár). Např. čas odebírání třísky při obrábění.

Čas pomocného chodu je doba činnosti daného výrobního zařízení, po kterou toto zařízení sice neplní svůj hlavní úkol, ale vykonává v průběhu operace pomocné úkony, nutné ke splnění hlavního úkolu (např. přísun obráběcího nástroje k obrobku).

Čas klidu je doba nečinnosti výrobního zařízení, během níž pracovník uskutečňuje úkony nutné k obsluze daného zařízení a vykonatelné jen za klidu zařízení (např. upínání obrobku nebo výměna otupeného nástroje).

Čas interference je čas při obsluze několika strojů jedním pracovníkem (vícestrojová obsluha).³

Čas hlavního chodu KTK 1

Časem hlavního chodu KTK 1 je doba, kdy stlačuje a dodává kyslík do potrubní sítě. Pracuje v zatíženém stavu, má otevřenou škrťací klapu na sání a uzavřen přepouštěcí ventil. Elektrická energie, kterou po tuto dobu kompresor odebírá, je přeměňována v kompresní práci.

³ *Racionalizace výroby* [online]. Ostrava (Česká republika): FS Vysoká škola báňská - Technická universita Ostrava, 2008- . [cit.2009-03-12]. URL: <http://www.fs.vsb.cz/euprojekty/414/racionalizace-vyroby.pdf>. Členění spotřeby času v průběhu směny, str. 36.

Čas pomocného chodu KTK 1

V čase pomocného chodu je KTK 1 provozován v odlehčeném stavu. Má uzavřenou škrtkící klapu na sání a otevřen přepouštěcí ventil. Stlačuje jen množství kyslíku dané těsností škrtkící klapy a přepouští jej z výtlaku zpět do sání. V čase pomocného chodu nedodává do potrubní sítě žádný kyslík. Elektrická energie, která je v této době kompresorem spotřebovávána, není efektivně využita. Čas pomocného chodu závisí zejména na níže uvedených faktorech.

Faktory ovlivňující délku času pomocného chodu KTK 1 se dělí na externí a interní. Externí faktory vznikají na straně odběratelů, jsou způsobeny jejich používanými technologiemi a nelze je z pozice dodavatele ovlivnit. Interní faktory jsou součástí řídicího procesu výroby a dodávky kyslíku na kyslíkárně.

Externí faktory:

- charakter a objem spotřeby kyslíku v síti
- správnost a včasnost informací spotřebitelů o prognóze spotřeby kyslíku

Interní faktory:

- kvalita vyhodnocení informací spotřebitelů o prognóze spotřeby kyslíku operátorem
- rozsah a včasnost korekce výroby a dodávky kyslíku
- provozuschopnost ostatních kyslíkových kompresorů

Čas klidu KTK 1

Čas klidu je doba, kdy je KTK 1 odstaven z provozu převážně z důvodu nižší spotřeby kyslíku odběrateli. Jeho provoz by byl po tuto dobu pro přebytek výkonu nerentabilní.

3. Návrh na zdokonalení systému

Proces dodávky kyslíku do sítě je řízen tak, aby byly vždy dodrženy její kvantitativní i kvalitativní parametry a současně byla dosahována příznivá úroveň MS elektrické energie komprese kyslíku. Těmto požadavkům je přizpůsobena i charakteristika provozu KTK 1. Příznivá úroveň MS elektrické energie je dosahována, pokud kompresor stlačuje a dodává kyslík do sítě. V průběhu dodávky však dochází k výpadkům ve spotřebě kyslíku a následně z důvodu vysokého tlaku v síti k přerušování dodávky kyslíku odlehčováním kompresoru. Tento režim provozu je z hlediska efektivity využití elektrické energie nežádoucí.

3.1 Koeficient provozního využití kompresoru

Při hledání energetických úspor je potřeba znát detailní obraz struktury provozu kompresoru z hlediska provozních časů hlavního a pomocného chodu. Přesnou informaci o tom, jak je využita kapacita provozovaného kompresoru, lze získat na základě koeficientu provozního využití. Koeficient provozního využití kompresoru je definován jako relativní doba zatíženého stavu a lze jej stanovit podle vzorce: ⁴

$$PV = \frac{t_z}{t_p} \quad [4]$$

Kde:

PV koeficient provozního využití

t_z doba provozu v zatíženém stavu [h]

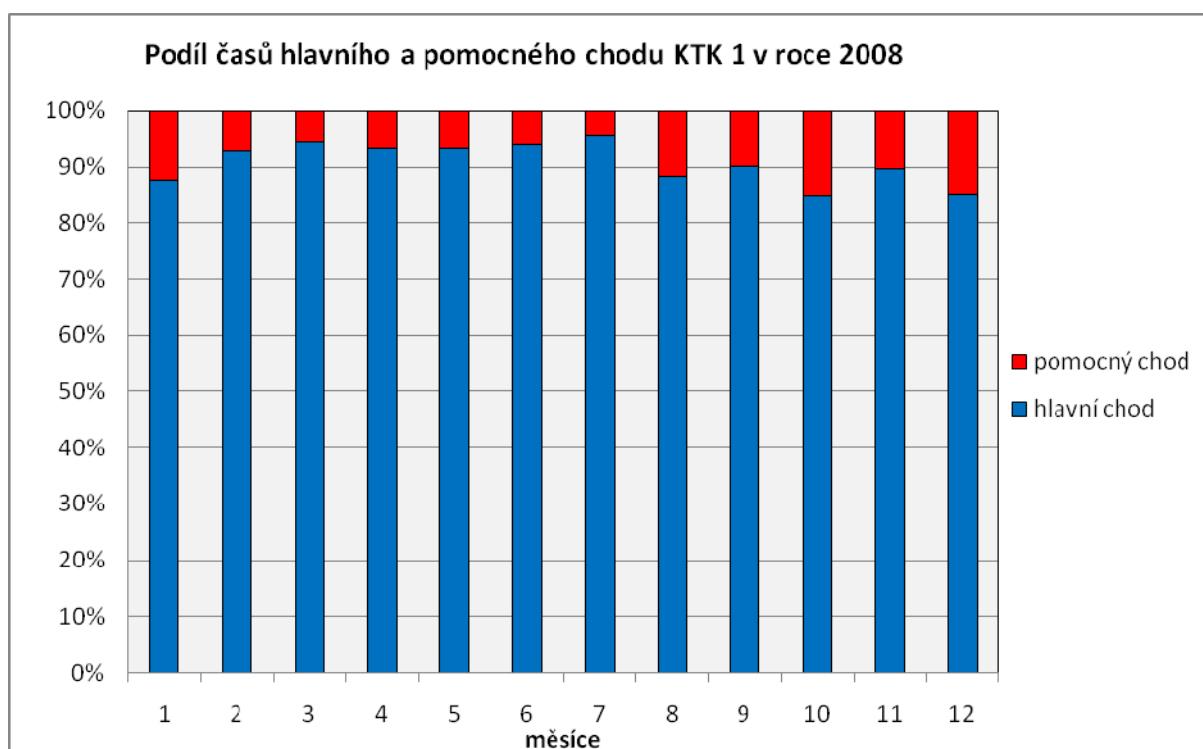
t_p celková doba provozu [h]

⁴ *Možnosti úspor energie při výrobě, rozvodu a spotřebě stlačeného vzduchu* [online]. Praha (Česká republika): Organizace na podporu energetických technologií, 2002- . [cit.2009-03-21]

URL: http://www.tc.cz/dokums_raw/moznostiusporenergie_1171360700.pdf. Optimalizace provozu kompresorové stanice, str. 19.

Tab. 3: koeficienty provozního využití KTK 1 v roce 2008

Rok	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Za rok
2008	0,88	0,93	0,94	0,93	0,93	0,94	0,96	0,88	0,90	0,85	0,90	0,85	0,91



Graf č. 2: podíl časů hlavního a pomocného chodu KTK 1 v roce 2008

3.2 Teoretické poznatky vedoucí k úsporám energie při kompresi

Při stlačování plynu se zvyšuje jeho tlak a teplota a dochází ke zmenšování objemu stlačeného plynu. Obecně pro tyto stavové veličiny plynu platí stavová rovnice:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

Kde:

p	absolutní tlak plynu [Pa]
V	objem plynu [m ³]
n	látkové množství [mol]
T	absolutní teplota plynu [K]
R	plynová konstanta [kJ/kg.K]

Spotřeba energie turbokompresoru je tak přímo závislá na:

- teplotě na sání ve všech stupních
- kompresním poměru $p_{\text{výstup}}/p_{\text{vstup}}$
- průtočném množství [Nm³/h]

Pokud jsou ostatní veličiny konstantní, pak o 10 % vyšší průtočné množství v Nm³/h vede ke spotřebě energie o 10 % vyšší.

3.2.1 Vliv chlazení plynu při kompresi

Při kompresi se uvolňuje teplo a stoupá teplota stlačovaného plynu. Z energetického hlediska je snahou přiblížit se při kompresi plynu co nejvíce ideální kompresi izotermické. Toho lze dosáhnout tak, že se provádí mezistupňové chlazení plynu. Plyn se stlačuje postupně v jednotlivých stupních kompresoru a mezi každým stupněm je vždy ochlazován. Toto mezistupňové chlazení má význam energetický, provozní i bezpečnostní. Ochlazování se provádí v mezistupňových chladičích. Chlazením je dosahováno snížení příkonu a objemových průtoků i zvýšení střední měrné hmotnosti, dále pak vyšších tlakových poměrů v jednom stupni.

3.2.2 Vliv kompresního poměru

Kompresní poměr je poměr absolutního tlaku výtlačného a absolutního tlaku sacího.

$$\mu = \frac{p_2}{p_1}$$

Kde:

- μ kompresní poměr
- p_2 absolutní tlak výtlačný
- p_1 absolutní tlak sací

Zvyšující se hodnota kompresního poměru znamená zvýšení energetické náročnosti provozu kompresoru. Snížení hodnoty tlaku na výtlačku kompresoru není možné z důvodu zajištění dostatečné úrovně tlaku v síti kyslíku požadované spotřebiteli. Při hledání cest ke zvýšení výkonu kompresoru je proto nutné zaměřit se na možnosti zvýšení tlaku v sacím potrubí kompresoru a ve všech zařízeních na sací straně.

3.2.3 Sledování provozního stavu kompresoru

Soustavné sledování hospodárnosti provozu kompresoru slouží jako prostředek k zamezení možnosti vzniku ztrát. Výsledky informativních provozních měření nám dávají aktuální informace o provozních parametrech. Některé z těchto hodnot mohou, zvláště v závislosti na čase, sloužit jako diagnostické signály, poskytující informace o technickém stavu stroje nebo jeho důležité funkční části.

Sledování výkonu kompresorů dává jednoznačné výstupy pro posouzení technického stavu kompresoru. Pokles výkonu o 10 až 15 % signalizuje nutnost střední opravy, při poklesu výkonu o 25 až 30 % je nezbytná generální oprava.

3.3 Zvyšování efektivity využití elektrické energie v čase hlavního chodu

V čase hlavního chodu je elektrická energie transformována na energii tlakovou. Při stlačování usilujeme o to, aby celý proces probíhal s maximální možnou účinností. Účinnost kompresoru lze považovat za měřítko dokonalosti přeměny práce na tlakovou energii. Je definována jako poměr ideální kompresní práce, kterou považujeme za referenční, a práce skutečně vynaložené na kompresi.

$$\eta = \frac{W}{W_a}$$

Kde:

η účinnost kompresoru

W_a práce skutečně vynaložená na kompresi [J/kg]

W ideální kompresní práce [J/kg]

Práce skutečně vynaložená na kompresi je buď práce zjištěná experimentálně (měřením) nebo může být reprezentována rozdílem entalpií na počátku a na konci komprese. Ideální kompresní práce je kompresní práce referenčního vratného termodynamického děje. Tento referenční děj může být počítán pro ideální nebo pro reálný plyn. V praxi se jako referenční děj volí izoentropický, izotermický nebo polytropický děj. Účinnost se pak podle volby referenčního termodynamického děje nazývá izoentropická, izotermická nebo polytropická.

3.4 Energetická náročnost KTK 1 v čase pomocného chodu

Parametry příkonu dosahované v čase pomocného chodu nejsou z hlediska energetické náročnosti provozu uspokojivé.

Pokud je turbokompresor provozován v odlehčeném stavu, měl by jeho příkon poklesnout na úroveň cca 30 % příkonu ve stavu zatíženém.⁵ Příkon KTK 1 se v čase hlavního chodu pohybuje v závislosti na tlaku v síti a stlačovaném množství kyslíku kolem hodnoty 2200 kW/h. V čase odlehčení by měl příkon kompresoru poklesnout na 660 kW/h. Skutečný příkon KTK 1 je však 1300 kW/h, což je 59 % příkonu zatíženého kompresoru. Důvodem tohoto velkého rozdílu v příkonu je nedostatečné odlehčení stroje. Vyřešení tohoto problému přispěje k vyšší rentabilitě provozu KTK 1 a ke snížení celkových nákladů na dodávku kyslíku. Přesto, že bývá turbokompresor odlehčen jen okolo 10% provozního času, rozdíl v teoretické a skutečné spotřebě elektrické energie turbokompresoru přinese 30 % úspory nákladů a krátkou návratnost prostředků vložených na racionalizaci.

Na řešení tohoto problému je zaměřena hlavní část mé bakalářské práce.

3.5 Pompáže při procesu odlehčování

Dalším problémem, který má stejně jako vysoký příkon stroje v čase pomocného chodu souvislost s technickým stavem a funkcí regulačních orgánů, je nedokonalý proces odlehčování stroje. Při přechodu zatíženého kompresoru do stavu odlehčeného se nejprve přivírá škrtková klapa v sání, až dosáhne průtočné množství kyslíku pompážní hranice. Poté je pootevřením přepouštěcího ventilu snižován tlak na výtlaku kompresoru, což umožňuje další přivírání škrtkové klapy v sání. Celý proces je v automatickém režimu kompresoru řízen automatickým regulátorem a probíhá až do úplného uzavření škrtkové klapy v sání a otevření přepouštěcího ventilu. Při této činnosti regulačních armatur dochází ke krátkým pompážím kompresoru, které mají negativní vliv na chod stroje. V rámci naprogramování regulátoru se nepodařilo tento jev odstranit.

⁵ *Možnosti úspor energie při výrobě, rozvodu a spotřebě stlačeného vzduchu* [online]. Praha (Česká republika): Organizace na podporu energetických technologií, 2002- . [cit.2009-03-21]

URL: http://www.tc.cz/dokums_raw/moznostiusporenergie_1171360700.pdf. Regulace kompresorů, str. 9.

3.6 Návrh na zlepšení současného stavu

Množství elektrické energie spotřebované KTK 1 v čase pomocného chodu závisí na čase a výši její spotřeby při tomto režimu provozu.

Předpokladem dosažení vyšší rentability provozu turbokompresoru je:

- snížení času pomocného chodu
- snížení spotřeby elektrické energie v čase pomocného chodu

Nejvyšší rentability provozu KTK 1 dosáhneme při nulovém čase pomocného chodu. Tohoto ideálního stavu však nelze v praxi dosáhnout z důvodu charakteristiky spotřeby kyslíku v síti. Časy pomocného chodu kompresorů lze minimalizovat zvyšováním kvality řídicího procesu výroby a dodávky kyslíku.

V čase, kdy musí být kompresor provozován, ale nedodává kyslík do sítě, je cílem minimalizace jeho příkonu. Protože zvyšování tlaku a průtoku nad potřebnou mez je vždy doprovázeno nárůstem spotřeby elektrické energie, snížení spotřeby dosáhneme optimalizací tlaku na výtlaku a snížením průtoku média turbokompresorem. Optimalizace příkonu a procesu odlehčování kompresoru bude dosaženo zlepšením technických parametrů a celkové funkce hlavních regulačních armatur stroje.

4. Návrh metodického přístupu k řešení dané problematiky

4.1 Příčiny vysoké energetické náročnosti pomocného chodu KTK 1

Jak již bylo naznačeno, při hledání příčin vysoké energetické náročnosti pomocného chodu KTK 1 je nutno zaměřit se zejména na velikost průtočného množství kyslíku a výši dosaženého tlaku na výtlaku kompresoru. Tyto veličiny nejvíce ovlivňují příkon stroje. V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty příkonu, tlaků a průtoku KTK 1 provozovaného na kyslík, které jsem naměřil v čase pomocného chodu. Naměřené hodnoty byly odečteny z vizualizace řídicího systému KTK 1.

Tab. 4: naměřené parametry KTK 1 v čase pomocného chodu

	Příkon [kW]	Tlak před škrťicí klapou [kPa]	Tlak za škrťicí klapou [kPa]	Tlak na výtlaku [kPa]	Průtok [Nm ³ /hod.]
KTK 1	1 296	2	-47	723	6 057

4.2 Rozbor zjištěných skutečností

Hlavními regulačními armaturami turbokompresoru jsou škrťicí klapa a přepouštěcí ventil. Na jejich technických parametrech a polohách otevření jsou závislé dosahované parametry tlaků a průtoku kyslíku v jednotlivých částech turbokompresoru.

4.2.1 Škrťicí klapa

Škrťicí klapa je umístěna v sacím potrubí před turbokompresorem (viz obr. 4) a řídí množství stlačovaného kyslíku. V odlehčeném stavu je škrťicí klapa v uzavřené poloze a má zajišťovat minimální průtok kyslíku turbokompresorem. Dosažená hodnota podtlaku -47 kPa za škrťicí klapou a vysoký průtok kyslíku turbokompresorem 6057 Nm³/hod. indikuje nedostatečnou těsnost škrťicí klapy KTK 1. Netěsnost škrťicí klapy je způsobena jejími konstrukčními parametry a technickým stavem.

4.2.2 Přepouštěcí ventil

Přepouštěcí ventil je instalován v potrubí, které vede z výtlaku kompresoru a přes přepouštěcí chladič je zaústěno do sacího potrubí před škrťací klapou. (viz obr. 4) Přepouštěcí ventil řídí spolu se škrťací klapou tlak na výtlaku kompresoru. V odlehčeném stavu je přepouštěcí ventil otevřen a přepouští kyslík zpět do saní kompresoru v množství, které propustí uzavřená škrťací klapa. Příčinou vysoké hodnoty tlaku na výtlaku KTK 1 v čase odlehčení (723 kPa) je malý průtočný výkon přepouštěcího ventilu, který charakterizuje i nižší průtokový součinitel K_{vs} .

Tab. 5: technické parametry přepouštěcího ventilu KTK 1

	Typ	DN	PN	K_{vs}	Charakteristika
Přepouštěcí ventil KTK 1	PS-BR11-146L	150	40	80	lineární

Průtočné charakteristiky regulační armatury

Ideální lineární poměrná průtočná charakteristika regulační armatury je taková charakteristika, ve které stejné přírůstky poměrného zdvihu vyvolají stejné přírůstky poměrného průtokového součinitele.

Poměrný průtokový součinitel

Je to poměr okamžitého průtokového součinitele K_v ku jmenovitému průtokovému součiniteli K_{vs} udávanému výrobcem.⁶

Jmenovitý součinitel průtoku K_{vs}

Průtočný výkon armatury závisí na průtokovém součiniteli. Průtokový součinitel je charakteristický součinitel potrubního prvku, který jednoznačně určuje jeho průtokové vlastnosti v daném stavu. Čím je průtokový součinitel vyšší, tím větší množství proteče prvkem nebo soustavou.

⁶ *Regulační armatury* [online]. Česká Třebová (Česká republika): LDM, spol. s r.o., 2006- . [cit.2009-04-03]. URL: <http://www.ldm.cz/downloads/Sbornik2006.pdf>. Průtočná charakteristika, str. 22.

Součinitel průtoku K_{vs} vyjadřuje objemový průtok vody v m^3/h , který proteče regulačním ventilem za referenčních podmínek průtoku při jeho plném otevření (tlakový rozdíl mezi definovanými tlakovými odběry před a za armaturou 1 bar, teplota vody 15 °C, rozvinuté turbulentní proudění, dostatečný statický tlak vylučující za uvedených podmínek možnost vzniku kavitace). Tato hodnota se určuje při typové zkoušce armatury a normou jsou stanoveny maximální dovolené odchylky součinitelů při plném otevření jednotlivých armatur daného typu od této hodnoty.⁷

4.3 Zvýšení průtočného výkonu přepouštěcího ventilu

Předpokladem dosažení nižšího tlaku na výtlaku kompresoru je zvýšení průtočného výkonu přepouštěcího ventilu. Toto je možné provést buď:

- zvýšením K_{vs} stávajícího ventilu konstrukční úpravou jeho hlavních částí
- výměnou za ventil s dostatečně velkým součinitelem průtoku K_{vs}

Na základě specifikace provozních podmínek kompresoru jsou firmou Polna corp. s.r.o. vypracovány dvě varianty řešení.

Varianta 1: úprava K_{vs} stávajícího přepouštěcího ventilu

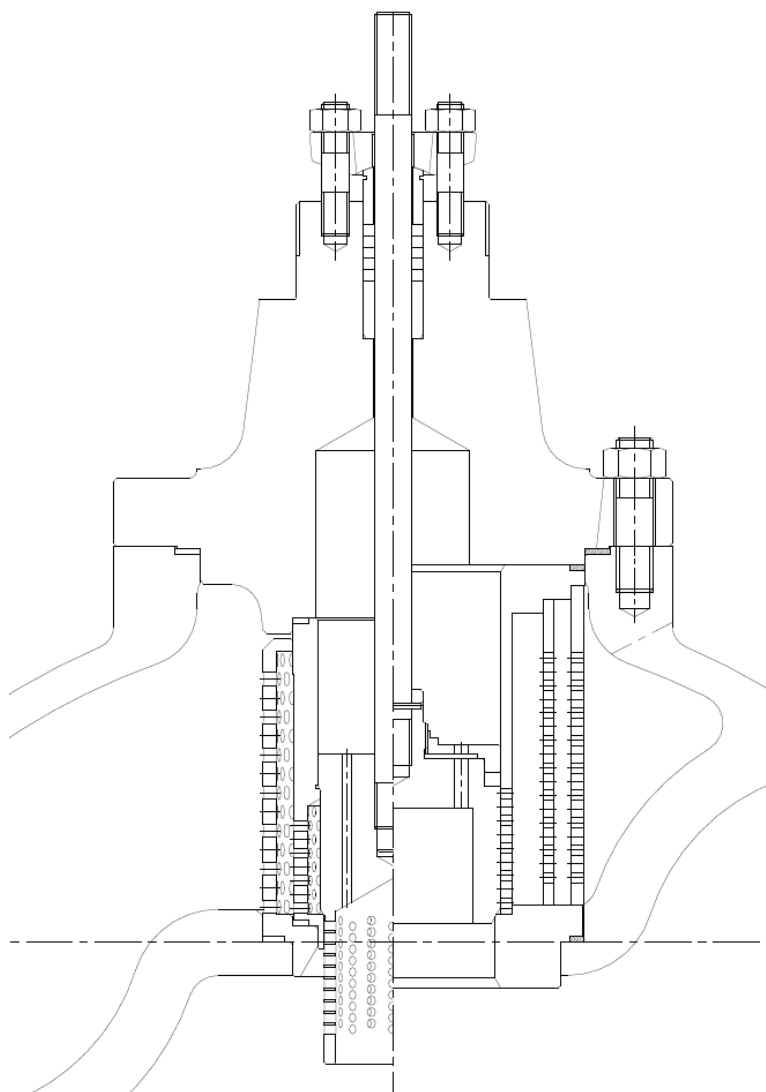
Návrh na konstrukční úpravu stávajícího přepouštěcího ventilu zahrnuje:

- výměnu kuželky a sedla na hodnotu K_{vs} 125 m^3/h
- demontáž starého sedla, kuželky a táhla
- montáž nového sedla kuželky a táhla
- soustružnické práce
- materiál pro změnu K_{vs} na hodnotu 125, vymežovací kroužek 2x, těsnicí materiál 6x, těsnění tělesa 1x, těsnění sedla 2x, sedlo 1x, kolík 2x, regulační klec 1x, těsnicí kroužek 1x, vymežovací kroužek klece 2x, odlehčená kuželka 1x, táhlo 1x, klec I 1x, klec II 1x

⁷ Regulační armatury [online]. Česká Třebová (Česká republika): LDM, spol. s r.o., 2006- .

[cit.2009-04-03]. URL: <http://www.ldm.cz/downloads/Sbornik2006.pdf>. Jmenovitý průtokový a ztrátový součinitel, str. 20.

Náklady na úpravu Kvs stávajícího přepouštěcího ventilu činí 272 502,- Kč.



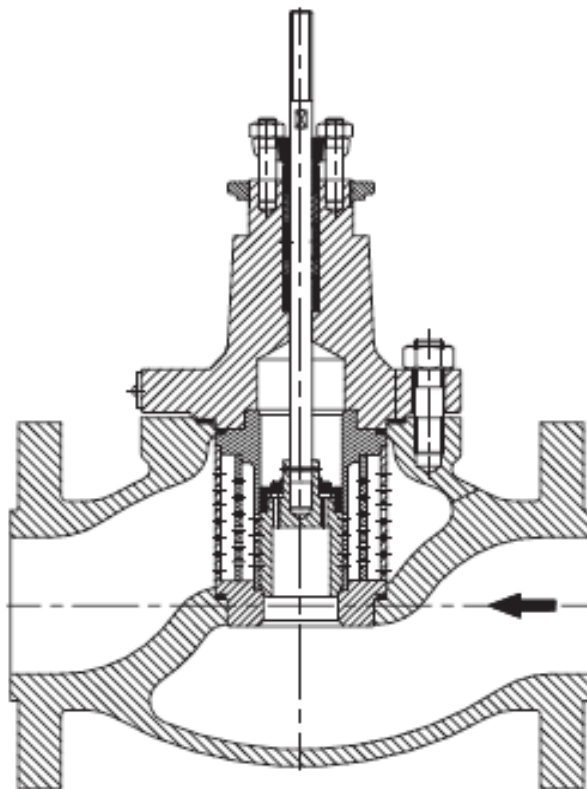
Obr. 6: řez přepouštěcím ventilem (vlevo od osy před, vpravo po úpravě)

Varianta 2: nový přepouštěcí ventil s možností použití stávajícího pohonu

Specifikace nového přepouštěcího ventilu:

- typ BR12B - 1C482T5 DN150 PN40
- materiál tělesa nerezová ocel GX5CrNiMo 19-11-2 (1.4408)
- standardní ucpávka; materiál těsnění PTFE pro kyslík
- materiál vnitřních dílů WNr.1.4571
- válcová kuželka se třemi klecemi
- tlakově odlehčená kuželka
- průtoková charakteristika lineární
- součinitel průtoku Kvs 125 m³/h
- standardní těsnost v sedle <0,01 %, třída IV. dle IEC 60534-4, sedlo kov-kov
- nerezový štítek s označením KKS (TAG)
- přírubové připojení dle DIN, DIN 2526 form N

Náklady na pořízení nového přepouštěcího ventilu jsou stanoveny na 492 520,- Kč.



Obr. 7: řez novým přepouštěcím ventilem

Vzhledem k dosažení stejných parametrů ventilu při nižších nákladech navrhuji realizovat variantu 1 - úpravu stávajícího přepouštěcího ventilu.

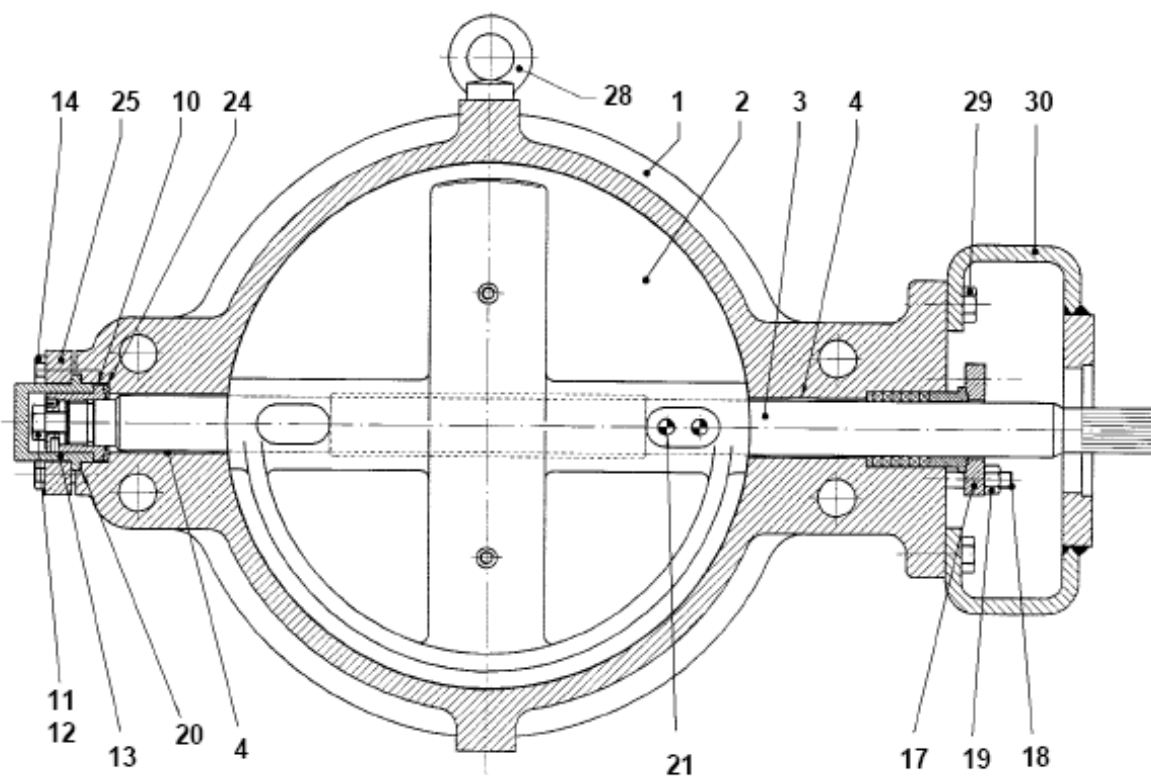
4.4 Výměna škrťací klapky

Škrťací klapka je konstruována jako ocelový disk umístěný v sacím potrubí, pevně spojený s hřídelí, který se otáčí kolem osy kolmé na směr proudění kyslíku. Pomocí pneumatického pohonu při uzavírání škrťá průchod kyslíku do kompresoru. Nedostatečná těsnost v uzavřeném stavu je způsobena větší mezerou mezi ocelovým diskem a tělesem klapky. V tomto případě nelze docílit požadovanou těsnost úpravou dílů klapky, ale je nutná výměna celé klapky.

Specifikace nové škrťací klapky:

- typ 1-X-270_1-512 DN 400 PN10 Cv 8990
- materiál tělesa ocel A216WCB
- materiál vnitřních dílů nerez
- průtokový součinitel Cv8990
- charakteristika equiprocentní
- mezipřírubové provedení wafer PN10
- pneumatický pohon jednočinný typ 1-x-270, funkce bez tlaku vzduchu otevírá
- E/P pozicioner; Sipart PS2
- montážní sada pro lineární pohon

Náklady na pořízení nové škrťací klapky činí 417 447,- Kč.



Obr. 8: řez novou škrťací klapou

4.5 Přínos navrhovaných úprav

Zvýšení průtočného výkonu přepouštěcího ventilu spolu se zvýšením těsnosti škrťací klapy umožní dosáhnout uspokojivých parametrů tlaků a průtoku turbokompresorem, což se pozitivně projeví na snížení spotřeby elektrické energie v čase pomocného chodu KTK 1. Dosahovaný příkon kompresoru v čase pomocného chodu 1300 kW/h bude snížen na předpokládanou hodnotu 600 kW/h. Těmito úpravami regulačních orgánů bude ušetřeno 700 kW/h elektrické energie.

5. Celkové zhodnocení navrženého řešení

5.1 Technické zhodnocení

Zvýšením průtočného výkonu přepouštěcího ventilu, výměnou škrťací klapky a novým nastavením jejích regulátorů bude dosaženo:

- zlepšení funkce hlavních regulačních armatur
- zvýšení rentability provozu
- zvýšení bezpečnosti provozu
- optimalizace procesu odlehčování
- snížení poruchovosti stroje

5.2 Ekonomické zhodnocení

5.2.1 Investiční náklady projektu

Investiční náklady projektu zahrnují cenu konstrukční úpravy přepouštěcího ventilu, cenu nové škrťací klapky, náklady na nové naprogramování regulátorů a náklady na montáž přepouštěcího ventilu a škrťací klapky.

Náklady na zvýšení průtočného výkonu přepouštěcího ventilu

Náklady na zvýšení průtočného výkonu přepouštěcího ventilu zahrnují:

- | | |
|---|--------------|
| ➤ vlastní úpravu přepouštěcího ventilu | 272 502,- Kč |
| ➤ demontáž a montáž přepouštěcího ventilu | 6 000,- Kč |

Náklady na zvýšení těsnosti škrťací klapky

Náklady na zvýšení těsnosti škrťací klapky zahrnují:

- | | |
|--|--------------|
| ➤ pořízení nové škrťací klapky | 417 447,- Kč |
| ➤ demontáž původní škrťací klapky | 4 000,- Kč |
| ➤ úpravu sacího potrubí a montáž nové škrťací klapky | 36 000,- Kč |

Náklady na naprogramování regulátorů škrťací klapky a přepouštěcího ventilu

Vzhledem k rozdílným průtočným charakteristikám původních a nových regulačních armatur bude nutné upravit software jejich regulátorů. Náklady na tuto úpravu jsou předpokládány ve výši 18 000,- Kč.

Celkové náklady na realizaci racionalizace

Celkové náklady na realizaci racionalizace jsou shrnuty v tabulce 6.

Tab. 6: shrnutí celkových nákladů na realizaci racionalizace

Druh nákladů	Výše nákladů [Kč]
Úprava přepouštěcího ventilu	272 502
Demontáž a montáž přepouštěcího ventilu	6 000
Pořízení nové škrťací klapky	417 447
Demontáž původní škrťací klapky	4 000
Úprava sacího potrubí a montáž nové škrťací klapky	36 000
Naprogramování regulátorů škrťací klapky a přepouštěcího ventilu	18 000
Náklady projektu celkem	753 949

5.2.2 Výpočet MS KTK 1 za provozních podmínek roku 2008

MS elektrické energie KTK 1 se vypočte podle vzorce:

$$MS = \frac{EE_{KTK1}}{Q_{KTK1}} \cdot 1000 \quad [\text{kWh}/1000 \text{ Nm}^3]$$

Kde:

MS měrná spotřeba elektrické energie KTK 1 [kWh/1000 Nm³]

EE_{KTK1} množství elektrické energie spotřebované KTK 1 [kWh]

Q_{KTK1} množství kyslíku dodaného KTK 1 [Nm³]

V systému bilancí dodávek produktů LINDE VÍTKOVICE a.s. jsou archivována data o celkovém množství dodaného kyslíku všemi kyslíkovými kompresory (společné obchodní měření). Z tohoto důvodu jsem pro výpočet MS použil provozní data pouze za dny, kdy byl pro dodávku kyslíku do sítě provozován samostatně KTK 1. Použitá provozní data KTK 1 v roce 2008 jsou uvedena v tabulce 7.

Tab. 7: provozní data KTK 1 v roce 2008

2008	V provozu [h]	Odlehčen [h]	PV	EE _{KTK 1} [kWh]	Q _{KTK 1} [Nm ³]	Průměrná dodávka KTK1 [Nm ³ /h]	MS _{KTK 1} [kWh/1000 Nm ³]
Leden	72	6,6	0,91	154 492	773 480	10 743	199,7
Únor	336	23,7	0,93	730 151	3 324 690	9 895	219,6
Březen	240	12,8	0,95	519 593	2 593 960	10 808	200,3
Duben	168	14,9	0,91	358 078	1 789 630	10 653	200,1
Květen	168	12,7	0,92	361 976	1 835 550	10 926	197,2
Červen	72	5	0,93	151 965	741 090	10 293	205,1
Červenec	216	9,6	0,96	470 516	2 485 630	11 508	189,3
Srpen	120	12,1	0,90	249 572	1 203 980	10 033	207,3
Září	264	25,9	0,90	561 421	2 711 770	10 272	207,0
Říjen	528	61,5	0,88	1 110 360	5 146 960	9 748	215,7
Listopad	24	1,2	0,95	50 966	258 590	10 775	197,1
Prosinec	96	17,4	0,82	196 486	885 620	9 225	221,9
Celkem 2008	2304	203,4	-	4 915 576	23 750 950	-	-
Průměr 2008	-	-	0,91	-	-	10 309	-

Výpočet MS KTK 1 za provozních podmínek roku 2008

$$MS_{2008} = \frac{EE_{2008}}{Q_{2008}} = \frac{4915576}{23750950} \cdot 1000$$

$$MS_{2008} = 206,7 \quad kWh/1000 \text{ Nm}^3$$

Kde:

MS_{2008} měrná spotřeba elektrické energie KTK 1 v roce 2008 [kWh/1000 Nm³]

EE_{2008} množství elektrické energie spotřebované KTK 1 v roce 2008 [kWh]

Q_{2008} množství kyslíku dodaného KTK 1 v roce 2008 [Nm³]

5.2.3 Výpočet MS KTK 1 po racionalizaci

Ve výpočtu MS po optimalizaci provozních podmínek v čase odlehčení je zahrnuta předpokládaná úspora elektrické energie 700 kW/h.

$$EE_R = EE_{2008} - (\dot{U}_{PŘ.} \cdot t_{odl.}) = 4915576 - (700 \cdot 203,4)$$

$$EE_R = 4773196 \quad kWh$$

Kde:

EE_R množství elektrické energie spotřebované KTK 1 po racionalizaci [kWh]

$\dot{U}_{PŘ.}$ předpokládaná úspora elektrické energie [kW/h]

$t_{odl.}$ doba provozu KTK 1 v odlehčeném stavu [h]

$$MS_R = \frac{EE_R}{Q_{2008}} \cdot 1000 = \frac{4773196}{23750950} \cdot 1000$$

$$\underline{\underline{MS_R = 201 \text{ kWh}/1000 \text{ m}^3}}$$

Kde:

MS_R měrná spotřeba elektrické energie KTK 1 po racionalizaci [kWh/1000 Nm³]

5.2.4 Úspora MS KTK 1

Stanoví se odečtením MS po racionalizaci od MS před racionalizací podle vzorce:

$$\dot{U}_{MS} = MS_{2008} - MS_R$$

$$\dot{U}_{MS} = 206,7 - 201$$

$$\underline{\underline{\dot{U}_{MS} = 5,7 \text{ kWh}/1000 \text{ Nm}^3}}$$

Kde:

\dot{U}_{MS} Úspora MS elektrické energie [kWh/1000 Nm³]

5.2.5 Úspora elektrické energie za hodinu provozu

Stanoví se vynásobením úspory MS elektrické energie průměrným hodinovým komprimovaným množstvím kyslíku podle vzorce:

$$\dot{U}_{EE} = \dot{U}_{MS} \cdot Q_{PR.}$$

$$\dot{U}_{EE} = \frac{5,7 \cdot 10309}{1000}$$

$$\dot{U}_{EE} = 58,8 \quad kW / h$$

Kde:

\dot{U}_{EE} úspora elektrické energie za hodinu provozu [kW/h]

\dot{U}_{MS} úspora MS elektrické energie [kWh/1000 Nm³]

$Q_{PR.}$ průměrné množství kyslíku dodané KTK 1 za hodinu [Nm³/h]

5.2.6 Úspora nákladů na elektrickou energii zavedením racionalizace

Výše uspořené náklady v Kč za hodinu provozu se vypočítá podle vzorce:

$$\dot{U}_{Kč} = \dot{U}_{EE} \cdot C_{EE} \quad [Kč/h]$$

Kde:

$\dot{U}_{Kč}$ úspora Kč za hodinu provozu [Kč/h]

C_{EE} variabilní část ceny elektrické energie [Kč/kWh]

Variabilní část ceny elektrické energie činí 1,6 Kč/kWh.

$$\dot{U}_{Kč} = \dot{U}_{EE} \cdot C_{EE} = 58,8 \cdot 1,6$$

$$\dot{U}_{Kč} = 94,1 \quad Kč / h$$

V roce 2008 byl KTK 1 provozován celkem 5684 hodin. Náklady na elektrickou energii uspořené zavedením racionalizace by činily:

$$N_c = \dot{U}_{Kč} \cdot t_p$$

$$N_c = 94,1 \cdot 5684$$

$$N_c = 534864 \quad Kč / rok$$

Kde:

N_c náklady, které uspoříme zavedením racionalizace za určitou dobu provozu [Kč]

t_p doba provozu KTK 1 [h/rok]

5.3 Doba návratnosti investovaných peněžních prostředků

Udává, za jakou dobu se vrátí jednorázové náklady projektu úsporami vlastních provozních nákladů. Čím je doba návratnosti kratší, tím je projekt z tohoto hlediska výhodnější. Doba návratnosti je důležitým hodnotovým ukazatelem, který je nutno uvádět v každém hodnocení racionalizace.

$$Dn = \frac{I_c}{N_c}$$

Kde:

Dn doba návratnosti investovaných financí [let]

I_c celkové náklady na realizaci racionalizace [Kč]

Výpočet doby návratnosti za provozních podmínek roku 2008

$$Dn = \frac{I_c}{N_c} = \frac{753949}{534864}$$

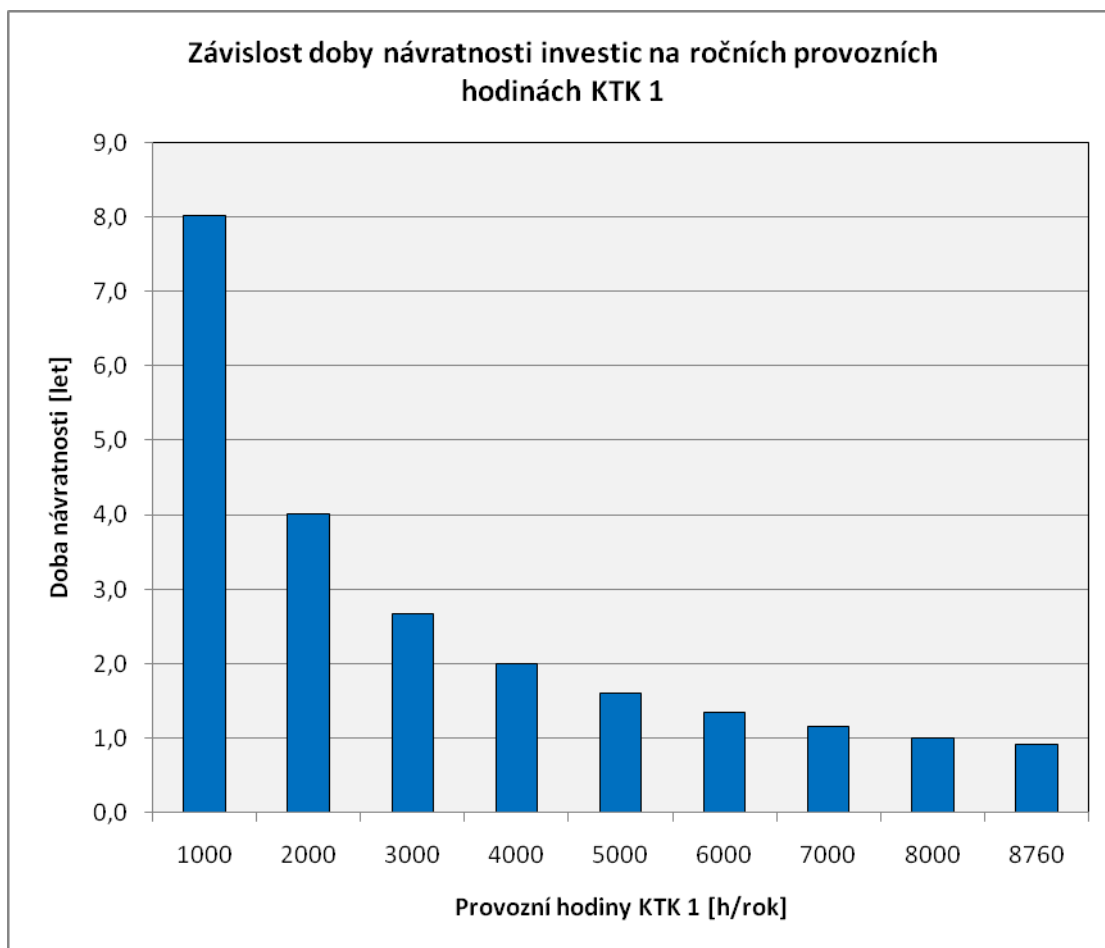
$$Dn = 1,4 \quad roku$$

5.3.2 Závislost doby návratnosti na době provozu KTK 1

Doba návratnosti investovaných peněžních prostředků je závislá na provozních hodinách a na velikosti koeficientu provozního využití KTK 1. Je zřejmé, že čím více budeme po racionalizaci KTK 1 provozovat nebo čím menší bude koeficient provozního využití kompresoru, tím kratší bude doba návratnosti peněžních prostředků. V tabulce 8 je uvedena doba návratnosti vložených investic v závislosti na ročních provozních hodinách KTK 1. Výpočet předpokládá provozní podmínky roku 2008.

Tab. 8: doba návratnosti při různých provozních hodinách KTK 1

Počet provozních hodin [h/rok]	Úspora [Kč]	Doba návratnosti [let]
1 000	94 100	8,0
2 000	188 200	4,0
3 000	282 300	2,7
4 000	376 400	2,0
5 000	470 500	1,6
6 000	564 600	1,3
7 000	658 700	1,1
8 000	752 800	1,0
8 760	824 316	0,9



Graf 3: závislost doby návratnosti investic na ročních provozních hodinách KTK 1

6. Závěr

Ve své bakalářské práci jsem se zabýval racionalizací provozu kyslíkového turbokompresoru KTK 1. Cílem bylo navrhnout řešení, které povede ke snížení energetické náročnosti jeho provozu.

Z analýzy současného provozu KTK 1 vyplývá, že optimalizovat celkovou spotřebu elektrické energie lze zejména snížením v čase pomocného chodu. Realizací navržené úpravy průtočné charakteristiky přepouštěcího ventilu a výměnou škrtící klapky lze dosáhnout snížení příkonu v čase pomocného chodu až o 700 kW/h. Toto snížení příkonu turbokompresoru se projeví při koeficientu provozního využití 0,91 a průměrné dodávce 10390 Nm³/h celkovou úsporou elektrické energie 58,8 kW/h provozu. Doba návratnosti vynaložených prostředků na racionalizaci je při provozních podmínkách roku 2008 a ceně elektrické energie 1,6 Kč/kWh 1,4 roku. Vypočtená doba návratnosti je v souladu s firemní politikou schvalování investic, která stanovuje maximální dobu návratnosti 2,5 roku.

Další racionalizační úsilí by mělo být vyvíjeno v oblasti zvyšování účinnosti komprese. Zlepšení účinnosti chlazení kyslíku v průběhu komprese a snížení hodnoty kompresního poměru zvýšením tlaku v sání turbokompresoru přinese snížení spotřeby elektrické energie v čase hlavního chodu KTK 1.

Vzhledem k výsledkům provedeného celkového zhodnocení lze konstatovat, že navržená racionalizační opatření budou pro LINDE VÍTKOVICE a.s. přínosná.

Poděkování

Chtěl bych tímto poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce panu Doc. Ing. Josefu Novákovi, CSc. z katedry mechanické technologie VŠB - TU Ostrava za cenné připomínky a odborné rady, kterými přispěl k vypracování této bakalářské práce.

Rád bych také poděkoval vedení a spolupracovníkům podniku LINDE VÍTKOVICE a.s. za ochotu a trpělivost, které projevili při osobních konzultacích a při získávání podkladů k této práci.

Děkuji rovněž mé milé manželce Katce, dceři Markétce a synu Vojtovi za velikou pomoc, nekonečné pochopení a skvělé zázemí, které mi poskytli během studia.

Literatura

- [1] *Racionalizace výroby* [online]. Ostrava (Česká republika): FS Vysoká škola báňská - Technická universita Ostrava, 2008- . [cit.2009-03-12].
URL: <http://www.fs.vsb.cz/euprojekty/414/racionalizace-vyroby.pdf>
- [2] *Organizace a řízení* [online]. Ostrava (Česká republika): FS Vysoká škola báňská - Technická universita Ostrava, 2008- . [cit.2009-03-12].
URL: <http://www.fs.vsb.cz/euprojekty/414/organizace-a-rizeni.pdf>
- [3] KAMINSKÝ, J. KOLARČÍK, K. PUMPRLA, O. *Kompresory*. 1. Vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2004 - 122 s. ISBN 80-248-0704-1
- [4] *Možnosti úspor energie při výrobě, rozvodu a spotřebě stlačeného vzduchu* [online]. Praha (Česká republika): Organizace na podporu energetických technologií, 2002- . [cit.2009-03-21]
URL: http://www.tc.cz/dokums_raw/moznostiusporenergie_1171360700.pdf
- [5] MISÁREK, D. *Turbokompresory*. 1. Vyd. Praha: SNTL, 1963. 232 s. ISBN 04-285-63
- [6] *Regulační armatury* [online]. Česká Třebová (Česká republika): LDM, spol. s r.o., 2006- . [cit.2009-04-03]
URL: <http://www.ldm.cz/downloads/Sbornik2006.pdf>